



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

HEIDI SUOMELA-UOTILA
MATERIAALI- JA ENERGIA TEHOKKUUS MUOVIPOHJAISTEN
PAKKAUSTEN KEHITYKSESSÄ
Diplomityö

Tarkastaja: professori Pentti Järvelä
Tarkastaja ja aihe hyväksytty
Teknisten tieteiden
tiedekuntaneuvoston kokouksessa
9. huhtikuuta 2014

TIIVISTELMÄ

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Materiaalitekniikan koulutusohjelma

SUOMELA-UOTILA, HEIDI: Materiaali- ja energiatehokkuus muovipohjaisten pakkausten kehityksessä

Diplomityö, 62 sivua, 2 liitesivua

Marraskuu 2014

Pääaine: Tekniset polymeerimateriaalit

Tarkastaja: professori Pentti Järvelä

Avainsanat: Energiatehokkuus, materiaalitehokkuus, muovipakkausten prosessointi, muovipohjaiset pakkaukset

Muovipohjaisia pakkauksia valmistetaan yleisimmin valtamuoveista ja käytetyimpiä materiaaleja ovat polyeteeni (PE), polypropeeni (PP), polyeteenitereftalaatti (PET) ja polystyreeni (PS). Tässä työssä tutkitaan neljän eri muovipohjaisen pakkauksen, muovipullon, muovikassin ja muovipussin, elintarvikepakkauksen sekä EPS:stä valmistettavan muovipakkauksen materiaali- ja energiatehokkuutta. Työn tavoitteena on selvittää, mitä materiaali- ja energiatehokkuus merkitsevät muovipakkausten kehityksessä, mitkä asiat niihin vaikuttavat, miten materiaali- ja energiatehokkuutta voidaan mitata, parantaa ja mitkä ovat niiden hyödyt. Lisäksi työssä käsitellään miten yritykset voivat halutessaan saada apua materiaali- ja energiatehokkaaseen toimintaan.

Työ on kirjallisuusselvitys ja se on jaettu aihealueittain viiteen osioon. Ensimmäisessä osiossa selvitetään muovipakkausten hyötyjä ja käydään läpi yleisimmät pakkausmuovit. Lisäksi osiossa selvitetään työhön valittujen muovipakkausten prosessointi. Seuraavassa osiossa käsitellään materiaalitehokkuus ja kolmannessa energiatehokkuus muovipohjaisten pakkausten kehityksessä. Kappaleissa käsitellään mitkä asiat vaikuttavat muovipakkausten materiaali- ja energiatehokkuuteen ja miten niitä voitaisiin parantaa. Neljännessä osiossa pohditaan materiaali- ja energiatehokkuuden hyötyjä ja lopuksi on yhteenveto. Työssä on käytetty erittäin laajasti kuvia ja taulukoita havainnollistamaan ja tukemaan luettavaa tekstiä.

Tutkittaessa muovipohjaisten pakkausten kehitystä on todettavaa, että yritysten kannattaa edistää materiaali- ja energiatehokasta toimintaa. Tehostamisella on suora vaikutus kilpailukykyyn, kustannusten alentumiseen, jopa uusien innovaatioiden syntymiseen ja yhteiskuntavastuun toteuttamiseen. Materiaali- ja energiatehokkaalla toiminnalla voidaan vaikuttaa ilmastonmuutokseen, luonnonvarojen säästeliäiseen käyttöön sekä jätteiden syntyyn. Lisäksi on hyvin todennäköistä, että tulevaisuudessa lainsäädäntö tulee velvoittamaan yrityksiä materiaali- ja energiatehokkaaseen toimintaan.

ABSTRACT

TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Master's Degree Programme in Material Technology

SUOMELA-UOTILA, HEIDI: Material and Energy Efficiency in the Development of Plastic-Based Packaging

Master of Science Thesis, 62 pages, 2 Appendix pages

November 2014

Major: Technical Polymer Materials

Examiner: Professor Pentti Järvelä

Keywords: Energy Efficiency, Material Efficiency, Plastic Packaging, Processing Plastic-Based Packages

Plastic-based packages are usually manufactured from polyethylene, polypropylene, polyethylene terephthalate or from polystyrene. In this thesis four different plastic packages and their materials and energy-efficiency are examined. Packages are plastic bottle, plastic bag, food package and package made from EPS. The purpose of this thesis is to examine how materials and energy-efficiency influences in plastic packaging industry and development and how they are measured, improved and what are the advantages. The thesis also studies how plastic packaging companies get help to improve their materials and energy-efficient operation.

The Thesis is a literature study and divided thematically into five parts. The first section studies plastic packaging and plastics that are used in them. In this section processing of plastic packages are also examined. The following sections studies material efficiency and energy efficiency in the development of plastic-based packaging. Sections discuss what factors influences plastic packaging materials and energy-efficiency, and how they could be improved. Fourth section discusses the advantages of materials and energy-efficiency and the final section is conclusions. The thesis uses very widely pictures and tables to illustrate and support the reader.

In this thesis conclusions are that plastic-based packaging companies should encourage the operation of materials and energy-efficiency. By encouraging the operation, influences it straight to competitiveness, the reduction of costs and the implementation of social responsibility. Material and energy-efficient operations could be affected to reduce climate change and use of natural resources, developing new innovations and reduction of waste. In addition, it is very likely that in the future legislation will oblige companies to materials and energy-efficient operation.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on kirjallisuusselvitys ja tehty Tampereen teknillisen yliopiston Materiaaliopin laitokselle vuonna 2014. Työssä tarkastellaan lähemmin neljän eri muovipohjaisen pakkauksen materiaali- ja energiatehokkuutta, mitkä asiat niihin vaikuttavat ja miten materiaali- ja energiatehokkuutta voitaisiin mitata ja parantaa. Lisäksi kerrotaan mitkä ovat materiaali- ja energiatehokkuuden hyödyt yritykselle ja miksi niin kannattaisi toimia.

Kiitän lämpimästi työni ohjaajaa ja tarkastajaa professori Pentti Järvelää kärsivällisestä ja asiantuntevasta ohjauksesta sekä avusta työn rajaamisessa ja sisällön kehittämisessä. Lisäksi kiitän häntä vielä siitä, että eläkkeelle jäätyään, hän halusi vielä toimia loppuun asti työni ohjaajana ja tarkastajana. Lämmin kiitos kuuluu myös aviomiehelleni, perheelleni ja ystäväilleni suuresta tuesta, pitkämielisyydestä ja ymmärryksestä opiskelujeni eri vaiheissa.

Tampereella 13.10.2014

Heidi Suomela-Uotila

SISÄLLYS

Tiivistelmä	ii
Abstract	iii
Termit ja niiden määritelmät	vii
1 Johdanto	1
2 Muovit pakkauksina	3
2.1 Pakkausmateriaalit ja pakkaukset	5
2.1.1 Muovipullon valmistus	10
2.1.2 Solupolystyreenin, EPS valmistus	13
2.1.3 Muovikassin ja muovipussin valmistus	14
2.1.4 Elintarviketeollisuuden muovirasiapakkaukset	16
3 Materiaalitehokkuus	19
3.1 Pakkausten materiaalitehokkuuteen vaikuttavat asiat	20
3.1.1 Luonnonvarat	20
3.1.2 Keveys	21
3.1.3 Muovipakkausten suunnittelu	24
3.1.4 Muovipakkausten prosessointi	25
3.1.5 Suursarjatuotanto	27
3.1.6 Älypakkaukset	27
3.1.7 Lainsäädäntö ja kierrätys	29
3.2 Mittaaminen ja arviointi	32
3.2.1 ENVIMAT-malli	33
3.2.2 Elinkaariarviointi (LCA)	33
3.2.3 Materiaalivirtojen kustannusanalyysi (MFCA)	33
3.2.4 Materiaalikatselemus (MATKAT)	33
4 Materiaalitehokkuuden parantaminen	35
5 Energiatehokkuus	38
5.1 Ilmastonmuutos ja energiantuotanto	38
5.2 Pakkausten energiatehokkuuteen vaikuttavat asiat	41
5.2.1 Materiaalin ja energian hinnan kehitys	42
5.2.2 Muovipakkausten prosessointi	43
5.2.3 Lainsäädäntö	44
5.3 Mittaaminen ja arviointi	45
6 Energian käyttö muovipohjaisten pakkausten prosessoinnissa	47
6.1 Moottorit ja voimansiirto	48
6.2 Prosessin lämmittäminen ja jäähdyttäminen	49
6.3 Paineilma, kompressorit	49
6.4 Tilojen lämmitys ja valaistus	50
7 Energiatehokkuuden parantaminen	51
7.1 Energiakatselmuksukset	51
7.2 Energian vähentäminen muovipakkausten prosessoinnissa	53

7.2.1	Tasokalvomenetelmä ja puhalluskalvoekstruusio	54
7.2.2	Ekstruusiopuhallusmuovaus ja ruiskuvalupuhallusmuovaus	54
7.2.3	Ruiskuvalu ja lämpömuovaus.....	56
7.2.4	Suspensiopolymerointi ja EPS-tuotteiden valmistus	57
8	Materiaali- ja energiatehokkuuden hyödyt.....	58
8.1	Luonnonvarojen ja kustannusten säästöt.....	58
8.2	Imago.....	59
9	Yhteenveto	60
	Lähteet.....	63
	Liite 1: Käytetyimpien muovien kierrätysmerkit.....	70
	Liite 2: Muovipakkausten energian hyöty- ja kierrätysaste vuonna 2012	71

TERMIT JA NIIDEN MÄÄRITELMÄT

Ekstruuderi	Suulakepuristin, jossa ruuvin ja lämmön avulla muoviraaka-aine sulatetaan ja sekoitetaan muovituotteen valmistamiseksi.
Ekstruusio	Suulakepuristus, jossa muovigranulaatti plastisoidaan paineen, kitkan ja lämmön avulla. Extruderin ruuvi työntää sulan muovin suuttimen läpi.
Jaksonaika	Kappaleen tekemiseen kulunut aika.
Kestomuovi	Voidaan sulattaa uudestaan ja muotoilla sopivaan muotoon
Kuumakanava	Pitää massan sulana vielä muotissakin. Estää valutapin muodostumisen
Nippi	Telapuristimen puristus
Plastisointi	Muovin saattaminen viskositeetiltaan ruiskuvalettavaan tilaan.
Termoplastinen	Lämpömuovattava sidosaine.
Valtamuovi	Halpoja materiaaleja, joita käytetään suuria määriä. Niiden tekniset ominaisuudet eivät ole kovin hyviä, mutta monessa käyttökohteessa ne ovat riittäviä.
Valukanava	Ruiskuvalukoneessa kanava, jota pitkin muovisula kulkee sylinteristä muottionkaloon.
Valutappi	Valukavavista jäävä tappi tuotteessa, joka on poistettava pohjasta mutta jättää pyöreän jäljen.

1 JOHDANTO

Muoveja on alettu käyttämään pakkausmateriaaleina 1930-luvulta lähtien. Pakkauksia valmistetaan yleisimmin valtamuoveista. Käytetyimpiä materiaaleja pakkauksilla ovat polyeteeni (PE), polypropeeni (PP), polyeteenitereftalaatti (PET) ja polystyreeni (PS). Pakkauksen pääasiallinen tehtävä on suojella tuotetta niin, että se päätyy kuluttajalle vahingoittumattomana ja tuoreena, sekä antaa informaatiota tuotteesta etenkin elintarvikepakkauksilla.

Muoveja valmistetaan eniten petrokemiantuotteista mutta alle 1,5 % kaikesta Euroopassa kulutetusta kaasusta ja öljystä käytetään muovipakkausten valmistamiseen. Muovipakkauksia voidaan valmistaa myös biohajoavista raaka-aineista esimerkiksi maa- ja metsätalouspohjaisista tuotteista. Euroopassa valmistetaan vuosittain noin 46 miljoonaa tonnia muovia ja tästä määrästä lähes 40 % käytetään pakkauksien valmistamiseen. Muovipakkauksella on paljon etuja, verrattaessa niitä muihin materiaaleihin. Suurin etu on muovien keveys, monimuotoisuus ja helppous. Lisäksi muoveista on mahdollista valmistaa pakkauksia materiaali- ja energiatehokkaasti, johtuen esimerkiksi niiden matalammista prosessointilämpötiloista. Tässä työssä perehdytään lähimmin muovipullojen, muovikassien ja muovipussien, elintarvikepakkauksien sekä solupolystyreenistä valmistettavien muovipakkausten valmistamiseen sekä materiaali- ja energiatehokkuuteen.

Tämä työ on kirjallisuusselvitys ja tehty koska materiaali- ja energiatehokkuus ovat nousseet muovipakkauksien valmistuksessa ja käytössä yhdeksi suurimmista aiheista. Luonnonvarojen riittäminen tulevaisuudessa, ilmastonmuutos, ympäristöasiat, kustannusten ja energian hinnan nousu sekä kilpailukyky ovat syitä, joiden kanssa muovipakkausteollisuus on joutunut tehostamaan ja miettimään toimintaansa. Materiaalitehokkuudella tarkoitetaan materiaalien hyödyntämistä siten, että mahdollisimman pienillä panoksilla saadaan tuotettua kilpailukykyisiä tuotteita. Tässä työssä käsitellään muovipakkausteollisuuden kannalta yleisimpiä materiaalitehokkuuteen vaikuttavia asioita kuten muovipakkausten keveys, luonnonvarat, prosessointi, suunnittelu, suursarjatuotanto, älypakkaukset sekä lainsäädäntö ja kierrätys. Lisäksi keskitytään siihen, miten yritys voisi parantaa materiaalitehokkuuttaan, mitata sitä ja mitä apua on saatavilla materiaalitehokkaaseen toimintaan.

Energiatehokkuus on suoraan kytköksissä materiaalitehokkuuteen ja yksinkertaisimmin sillä tarkoitetaan saman tuotteen valmistamista vähemmällä energialla. Ilmastonmuutos on yksi suurimmista ympäristöuhistamme ja energiatehokkuudesta onkin tullut yksi teema ilmastonmuutoksen torjumiseksi. Lisäksi

energiatehokkuus liittyy energiapolitiikkaan. Vuoteen 2020 on EU sitoutunut parantamaan energiatehokkuutta 20 %:lla. Tässä työssä pohditaan mitkä asiat vaikuttavat muovipakkausten energiatehokkuuteen. Käsiteltäviä aiheita ovat materiaalin ja energian hinnan kehitys, muovipakkausten prosessointi ja lainsäädäntö. Lisäksi pohditaan, miten energiatehokkuutta voidaan parantaa ja mitata, etenkin muovien prosessoinnissa. Lopuksi yhteenvedossa analysoidaan muovipakkauksia energia- ja materiaalitehokkuuden näkökulmasta.

2 MUOVIT PAKKAUKSINA

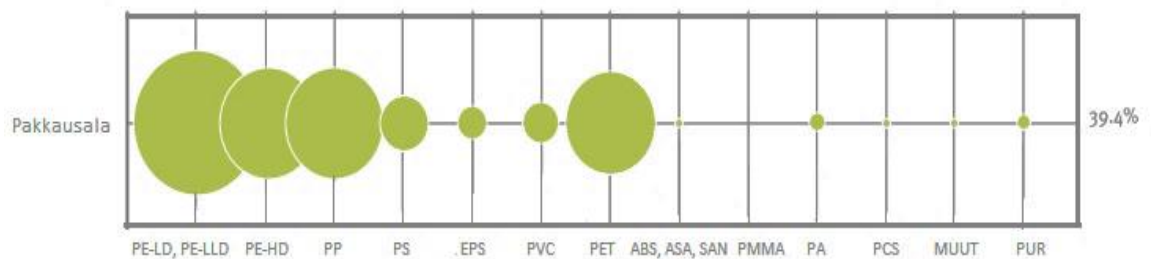
Muovien aikakausi alkoi varsinaisesti 1920-luvulla mutta pakkausmateriaalina muovia alettiin käyttää 1930-luvulla. Uusi innovaatio kertamuovista johti muovipussin keksimiseen ja 1950-luvulla esiteltiin pientiheyksisestä polyeteenistä (PE-LD) valmistettu muovipussi. Keksiminen mahdollisti esimerkiksi ruuan pakastamisen ja oli merkittävässä osassa ruuan pakastamisen teknologiaa. (Gustafsson, K., Jönson, G., Smith, D. & Sparks, L. 2006, s. 76.)

Suomessa ja Euroopassa pakkauksia valmistetaan eniten valtamuoveista. Euroopassa käytetään valtamuoveja enemmän jäykkien pakkausten valmistamiseen esimerkiksi kanistereiden, pullojen ja pakkausrasioiden kun taas Suomessa valtamuoveista valmistetaan enemmän joustopakkauksia. Kuvassa 1 on esitelty muovien käyttökohteet Euroopassa. (Järvinen, P. 2008, s. 27.)



Kuva 1. Muovien käyttökohteet Euroopassa (Mukailtu PlasticsEurope c. 2013).

Muovipakkaukset valmistetaan pääosin maaöljystä ja noin 4 % Euroopassa käytetystä öljystä menee muovien valmistukseen. Muoveja valmistetaan Euroopassa noin 45,9 miljoonaa tonnia ja muovipakkauksiin käytetään tästä osuudesta noin 40 %. Käytetyimpiä materiaaleja pakkauksilla valtamuoveista ovat polyeteeni (PE), polypropeeni (PP), polyeteenitereftalaatti (PET) ja polystyreeni (PS). Kuvassa 2 on esitelty Euroopan tärkeimpien muovimateriaalien jakautuminen pakkausalalla vuonna 2012. (Edu.fi. 2010; Muoviteollisuus Ry. 2014.)



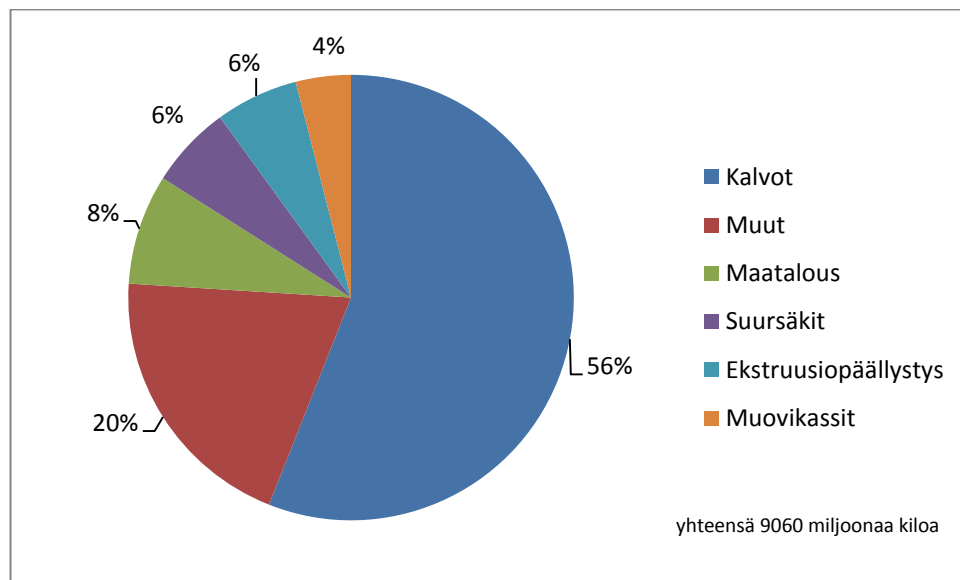
Kuva 2. Euroopan tärkeimpien pakkausmuovien jakauma (Mukailtu PlasticsEurope c. 2013).

Nykyisin muovipakkaukset ovat jo arkipäivää ja harvoin tulee ajatelleeksi kuinka monimuotoisia pakkaukset ovat. Pakkauksen pääasiallinen tehtävä on suojella tuotetta niin, että se päätyy kuluttajalle vahingoittumana ja tuoreena sekä antaa informaatiota tuotteesta etenkin elintarvikepakkauksilla. (Muoviteollisuus Ry. 2014.)

Muovipakkauksella on paljon etuja verrattaessa niitä muihin materiaaleihin. Pakkauksilla on ulkonäön suuri muokattavuus ja mahdollisuus valita pakkauksen väri tai läpinäkyvyys. Muovit mahdollistavat myös erilaisia pintaratkaisuja ja tarpeen vaatiessa vähentävät kitkaa. Muovipakkausten etuna on myös pakkausten avattavuus ja suljettavuus, jolloin esimerkiksi elintarvike pysyy pidempään tuoreena. Muovipakkaukseen on helppo lisätä tietoa, suoraan tai etiketin avulla, lisäksi muovipakkauksen muovin ollessa läpinäkyvä on helppo nähdä ostettava tuote. Muovipakkaukset taipuvat lähes mihin muotoon tahansa, joka on selvä kilpailuetu markkinoilla erottumiseen. Muoveilla on erittäin hyvä iskunkesto, eivätkä ne esimerkiksi mene sirpaleiksi pudotessaan lattialle. Muovit ovat kevyitä verrattaessa muihin materiaaleihin ja aiheuttavat näin logistiikasta ja kuljetuksesta koituvia kustannuksia vähemmän. Muovien oikealla muotoilulla voidaan vähentää myös tilanpuutteesta aiheutuvia ongelmia. Muovien prosessoitavuus ja muovipakkaukset soveltuvat hyvin erilaisille pakkauslinjoille ja automaatiojärjestelmiin. Erilaisia muovilaatuja pystytään myös yhdistelemään monikalvotekniikoin tarpeen vaatiessa tai kun tuotteelta vaaditaan samanaikaisesti monia erilaisia ominaisuuksia. Muovin monimuotoisuuden takia tuotteita on mahdollisuus valmistaa erittäin materiaali- sekä energiatehokkaasti muihin materiaaleihin verrattuna, johtuen etenkin niiden keveydestä ja matalista prosessointilämpötiloista. Esimerkiksi alumiinin prosessointilämpötila on noin 1000–1200 °C:tta kun polyeteenillä se on ruiskuvalussa noin 80–270 °C:tta. (Helsinki.fi.1999; Muoviteollisuus Ry. 2014.)

2.1 Pakkausmateriaalit ja pakkaukset

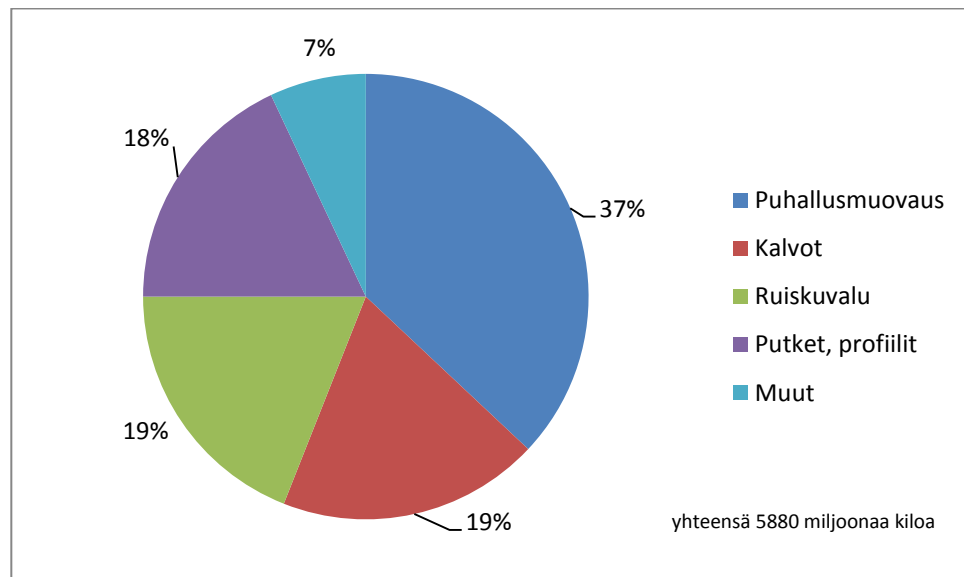
Pientiheyspolyeteeni PE-LD, tiheys $0,91\text{--}0,93\text{ g/cm}^3$ on käytetyin muovilaatu Suomessa ja siitä valmistetaan eniten erilaisia pakkauskalvoja esimerkiksi muovikasseja, kiristekalvoja ja yhdistelmäkalvoja. Niputukseen ja kuljetuksen apuna pakkaamisessa toimivia kiristekalvoja valmistetaan erityisesti lineaarisesta pientiheyspolyeteenistä, PE-LLD, jota saadaan polymeroimalla PE-LD:tä. Se muistuttaa myös ominaisuuksiltaan pientiheyspolyeteeniä. PE-LLD on PE-LD:tä hieman sitkeämpää ja lujempaa niin matalissa kuin korkeimmissa lämpötiloissa sekä se on vähemmän altis jännityssäröilyyn. Keskitiheyspolyeteenistä PE-MD, tiheys $0,93\text{--}0,94\text{ g/cm}^3$ valmistetaan vahvoja kalvoja ja sitä käytetään myös yleisesti puhallusmuovaukseen. Kalvoja käytetään teollisuus-, kuluttaja- ja elintarvikepakkauksissa mutta myös ekstruusiopäällystyksen avulla kalvoja liitetään muihin materiaaleihin. PE-LD on kestävä, joustavaa ja venyvä ja soveltuu siksi erinomaisesti muovipussin raaka-aineeksi. Pientiheyspolyeteenillä on pakkausmateriaalina myös hyvä kosteudensuoja, liukas pinta, pieni kaasunsuoja, kemikaalinkestävyys ja hyvä läpinäkyvyys ohuena kalvona. Eteenistä on kopolymeroimalla modifioitu myös paljon erilaisia muoveja, joita käytetään yleisesti pakkauksissa esimerkiksi EVA, EVOH ja EBA. EVA lisää muovin kirkkautta ja joustavuutta, EVOH toimii kaasunsulkukerroksena ja EBA:sta voidaan valmistaa vahvoja ja kirkkaita kalvoja. Kuvassa 3 on esitelty pientiheyspolyeteenin käyttökohteiden jakautumista Euroopassa. (Järvinen, P. 2008, ss. 30-34; Telko. 2014.)



Kuva 3. PE-LD:n ja LLD:n käyttökohteet Euroopassa 2007. (Mukailtu Järvinen, P. 2008, s. 31).

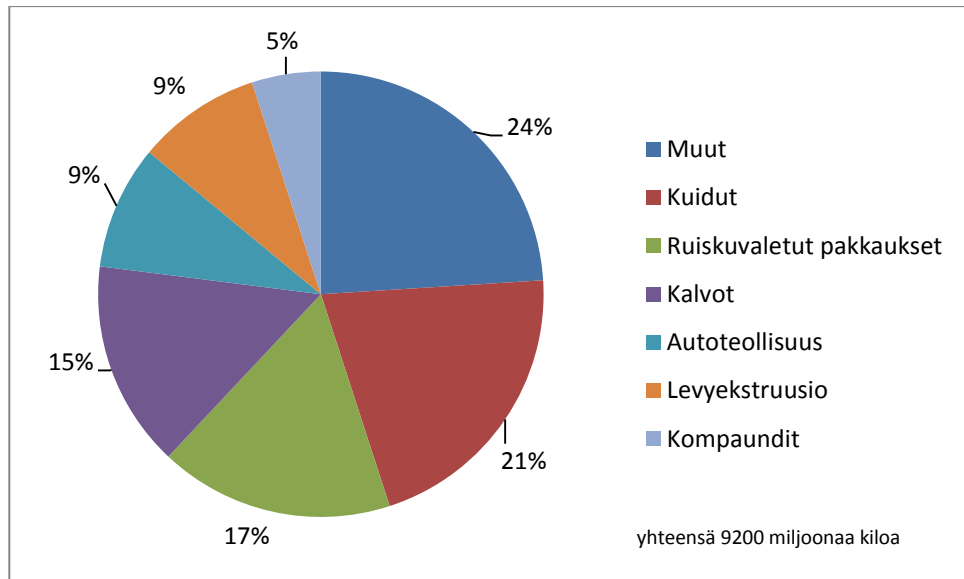
Suurtiheyspolyeteeni PE-HD, tiheys $0,94\text{--}0,97\text{ g/cm}^3$ sopii hyvin puhallusmuovaukseen ja siitä valmistetaan pakkausteknologiassa erilaisia pulloja esimerkiksi elintarvikkeille, kemikaaleille, voiteille ja pesuaineille. PE-HD on jäykempää kuin PE-LD ja sillä on myös pienempi kaasunläpäisevyys. PE-HD:n

liimaaminen on haastavaa, sen pinta on liukas ja siihen on hankala painaa ilman esikäsitteilyä. Tyypillistä elintarveteollisuudessa on käyttää PE-HD monikerrospuhalluksessa, jossa pulloon liitetään monia eri muovilaatuja. PE-HD:ta käytetään myös sameisiin ja rapiseviin vihannespusseihin. Suurtiheyspolyeteeni sopii myös hyvin jäykkien pakkausten esimerkiksi kanistereiden valmistamiseen. Kuvassa 4 on esitelty PE-HD käyttökohteita Euroopassa. (Järvinen, P. 2008, ss. 36-39; Telko. 2014.)



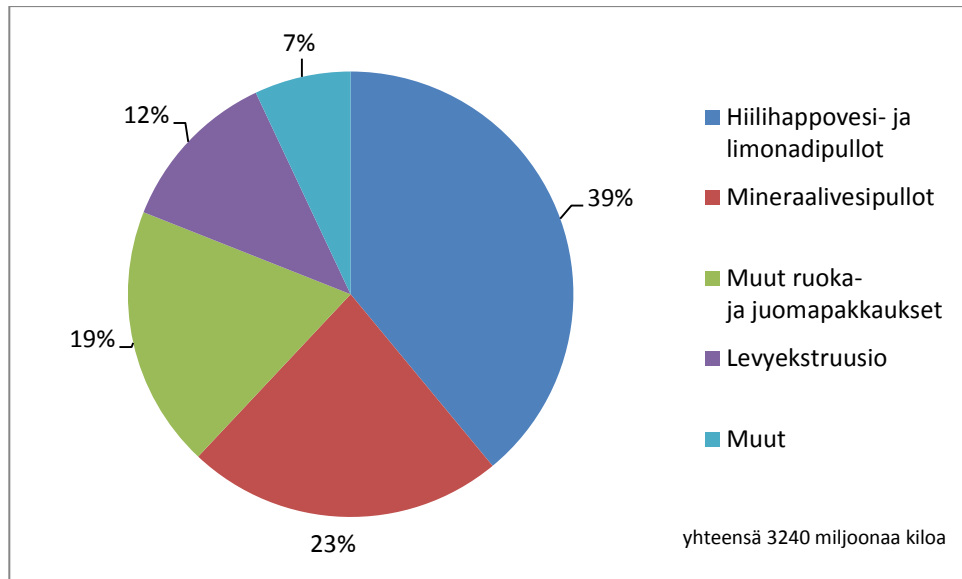
Kuva 4. PE-HD:n käyttökohteet Euroopassa 2007. (Mukailtu Järvinen, P. 2008, s. 37).

Polypropeenista PP, tiheys $0,91 \text{ g/cm}^3$ valmistetaan esimerkiksi pakkauskalvoja, kansiä, korkkeja ja ruiskuvalettuja pakkauksia. PP kilpailee PE-HD:n kanssa ruiskuvaletuissa pakkauksissa ja hallitsee lämmitettävissä elintarvikepakkauksissa markkinoita. Lisäksi, polypropeenilla on parempi mittatarkkuus, se ei ole liukas ja PP on helpommin prosessoitavissa. Polypropeenin käyttö on kasvanut lämpömuovatuissa pakkauksissa ja esimerkiksi voirasiat ja mikrossa lämmitettävät einespakkaukset ovat polypropeenia. Polypropeenin kilpailee PE-HD:n kanssa juuri ruiskuvalutuotteissa. Polypropeenin soveltuu myös erinomaisesti saranallisten korkkien materiaaliseksi ja tyypillinen tuote on esimerkiksi ketsuppullon saranoitu korkki. PP:tä käytetään runsaasti kalvona elintarvikepakkauksissa. BOPP-kalvo saadaan polypropeenista orientoimalla se biaksiaalisesti, jolloin sitä venytetään myös poikkisuuntaan. BOPP-kalvo on vahvaa molempiin suuntiin, antaa hyvän kosteussuojan ja on tarvittaessa läpinäkyvä. Sitä käytetään laminoimalla alumiinifolion kanssa esimerkiksi makeispusseihin ja perunalastuihin. Yksisuuntaisesti orientoitua PP-tasokalvoa käytetään lääke- ja ruokapakkauksissa. Polypropeenin käyttökohteiden jakautuminen on esitelty Kuvassa 5. (Järvinen, P. 2008, ss. 40-43; Telko. 2014.)



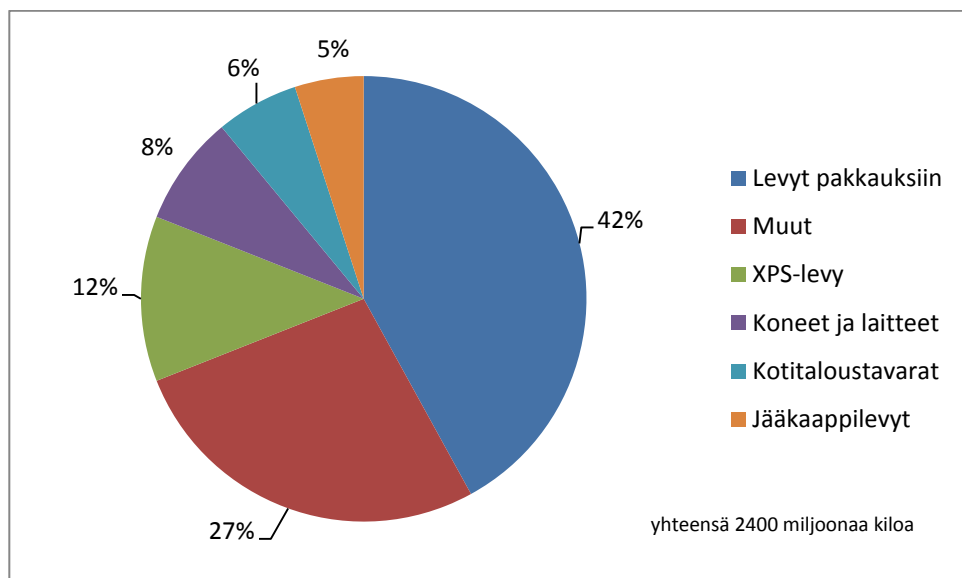
Kuva 5. PP:n käyttökohteet Euroopassa 2007. (Mukailtu Järvinen, P. 2008, s. 41).

Polyeteeniteraftalaattia PET, ei varsinaisesti lueta valtamuoviksi mutta sen käyttö on viime aikoina kasvanut niin paljon juomapulloissa, että se on jo lähes valtamuovi. PET on lämmönkestonsa vuoksi tullut pakkauksista aikaisemmin tutuksi esimerkiksi paistopusseista. Pakkausteknologiassa, amorfisen PET:n markkinat ovat virvoitus- ja vesipulloissa mutta sen käyttö lisääntyy myös muissa elintarvikepakkauksissa. Amorfinen PET on elintarvikepakkauksissa hajuton ja myrkytön, se ei kuitenkaan kestä jatkuu lämpöä ja saattaa kiteytyä. Elintarvikepakkauksissa PET:ä käytetään levyistä lämpömuovaamalla jäykkiin ja läpinäkyviin ruokapakkauksiin, esimerkiksi mikrossa lämmitettäviin pakkauksiin ja jauhelihapakkauksiin. Lisäksi puristettavat hunaja-, hillo- ja kastipakkaukset ovat usein PET:ä. PET soveltuu myös valkoiseksi värjättyjen maitopullojen valmistamiseen ja kilpailee tässä PE-HD:n kanssa. Kuvassa 6 on esitelty PET:n käyttökohteiden jakautuminen Euroopassa. (Järvinen, P. 2008, ss. 74-76; Telko. 2014.)



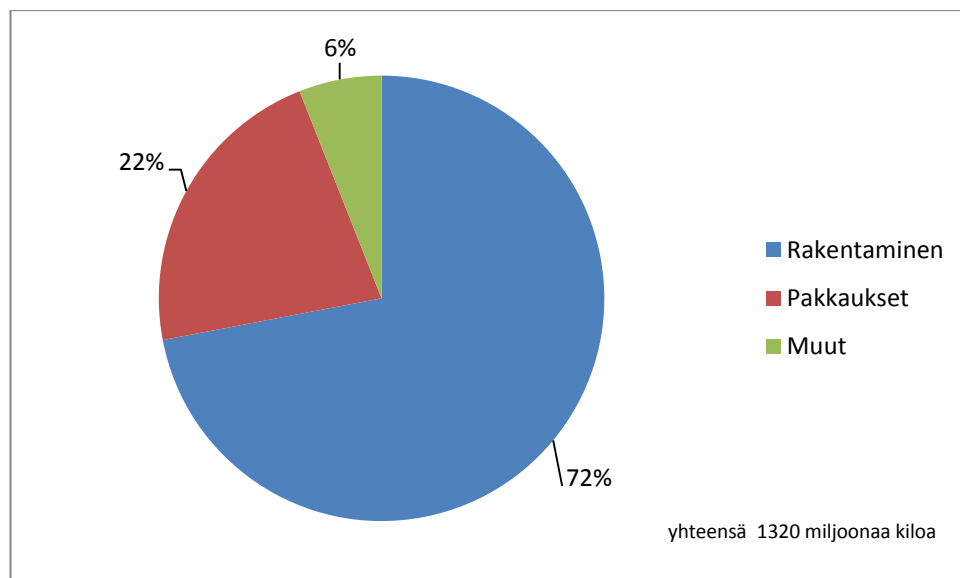
Kuva 6. PET:n käyttökohteet Euroopassa 2007. (Mukailtu Järvinen, P. 2008, s. 75).

Polystyreeni PS, tiheys $1,05 \text{ g/cm}^3$ on lasinkirkas kova muovi mutta hauras. PS:n pohjalta on kehitelty muoveja, joilla on parempia ominaisuuksia kuten iskuluja polystyreeni SB. Se on iskulujuutensa vuoksi yleinen materiaali kertakäyttöisissä ruokapakkauksissa. Polystyreeniä käytetään eniten muovilevyekstruusiossa, jossa levyistä lämpömuovataan pääasiassa pakkaustuotteita elintarvikkeille esimerkiksi maitopurkkeja ja muita kertakäyttöastioita. PS on myös hyvin käytetty kalan, lihan ja itsepalvelusalaattien pakkausmateriaalina. Nykyisin polystyreenin kanssa kilpailee jäykissä pakkauksissa polypropeeni halvempaa raaka-ainevaihtoehtona. Kuvassa 7 on esitelty Polystyreenin käyttökohteet Euroopassa. (Järvelä, P. 2011; Järvinen, P. 2008, ss. 59-64.)



Kuva 7. PS:n ja SB:n käyttökohteet Euroopassa 2007. (Mukailtu Järvinen, P. 2008, s. 59).

Solupolystyreeni eli EPS valmistetaan panosprosessina sekoitusreaktorissa suspensiopolymerointina. Prosessissa styreenimonomeeriä ja väliaineena käytettävää puhdasta vettä syötetään reaktoriin saman verran. Polymerointi käynnistyy kun tarvittavat apuaineet lisätään ja lämpötilaa nostetaan. Polymeroinnin kesto on noin 10–16 tuntia ja polymerointilämpötila on noin 90–130 °C. Helmen kasvuvaiheen jälkeen EPS:n valmistuksessa reaktoriin lisätään pentaanikaasua, joka liukenee helmiin ja vaikuttaa ponnekaasuna lopputuotteessa ja antaa vaahtomaisen rakenteen muoville. Ajan kuluessa ja diffuusion vaikutuksesta pentaani korvaantuu normaaliolosuhteissa ilmalla. Muodostunut rakenne on umpisoluinen, jossa polystyreeniä on vain muutama prosentti ja loput ovat ilmaa. EPS-tuotteita käytetään yleisesti pakkausteknologiassa suojaamaan itse tuotteita esimerkiksi kolhuilta, naarmuilta ja liikkumiselta pakkauksen sisällä. Sisäpuolelta muotoiltuun solupolystyreeniin on lähes aina pakattu kodinkoneet, tietokoneet ja televisiot. EPS:ää käytetään myös hygieenisyytensä ja kosteudenkestävyytensä vuoksi esimerkiksi lääketeollisuuden pakkauksissa ja kalalaitteina. Kansankielellä EPS:ää kutsutaan usein sen kaupanimen perusteella styroksiksi. Kuvassa 8 on esitelty EPS:n käyttökohteiden jakautuminen Euroopassa. (Järvelä, P. 2011; Järvinen, P. 2008, ss. 61–64.)



Kuva 8. EPS:n käyttökohteet Euroopassa 2007. (Mukailtu Järvinen, P. 2008, s. 63).

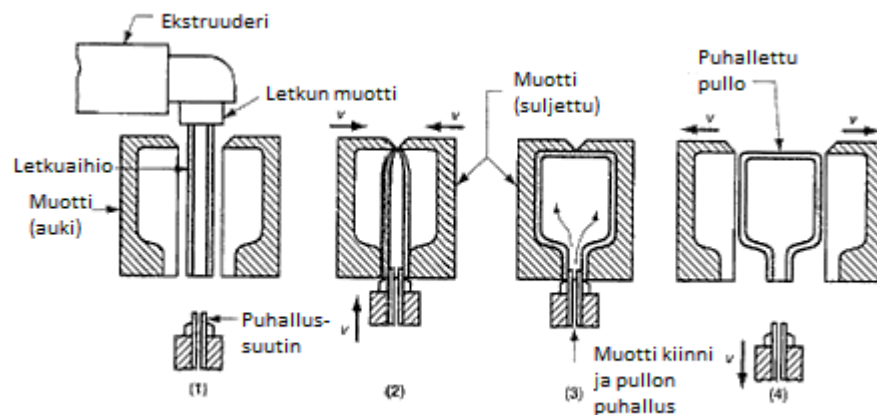
Taulukossa 1 on esitelty työssä käytettyjen muovimateriaalien ominaisuuksia ympäristön kannalta.

Taulukko 1. Ympäristöominaisuudet: materiaali (Mukailtu Ashby, M.F. 2013, ss. 496-507)

Muovi	Maailmalaajuinen tuotanto tonnia/vuosi	Sitoutunut energia, alkutuotanto MJ/kg	Hiilijalanjälki, alkutuotanto kg/kg	Vedenkulutus dm ³ /kg
Polypropeeni (PP)	44 X 10 ⁶	75-83	2,9-3,2	189-209
Polyeteeni (PE)	69 X 10 ⁶	77-85	2,6-2,9	38-114
Polyeteeni- teraftalaatti (PET)	9,5 X 10 ⁶	81-89	3,7-4,1	14,7-44,2
Polystyreeni (PS)	12,6 X 10 ⁶	92-102	3,6-4,0	108-323

2.1.1 Muovipullon valmistus

Muovipulloja valmistetaan perinteisesti ekstruusiopuhallusmuovauksella, Kuva 9. Se on puhallusmuovauksen yksinkertaisin muoto. Puhalluslaitteisto sisältää ekstruuderin ja kulmapään. Ekstruuderin avulla muoviraaka-aine sulatetaan, homogenisoidaan ja kuljetetaan eteenpäin. Muovi kulkee kulmapään kautta ulos laitteistosta. Kulmapäässä syntyy muoviletkuaihio, joka on elastinen ja kuuma. Letku suljetaan pullon muotoiseen muottiin ja leikataan poikki. Kuuman letkun ollessa muotissa, johdetaan letkun sisään ilmaa noin 6-10 bar:n paineella. Letkuaihio alkaa venyä ja saavuttamaan muotin halutun muodon. Muotti avataan kun pullo on riittävästi jäähtynyt. (Kurri, V., Malen, T., Sandell, R., & Virtanen, M. 1999, ss. 116-117)



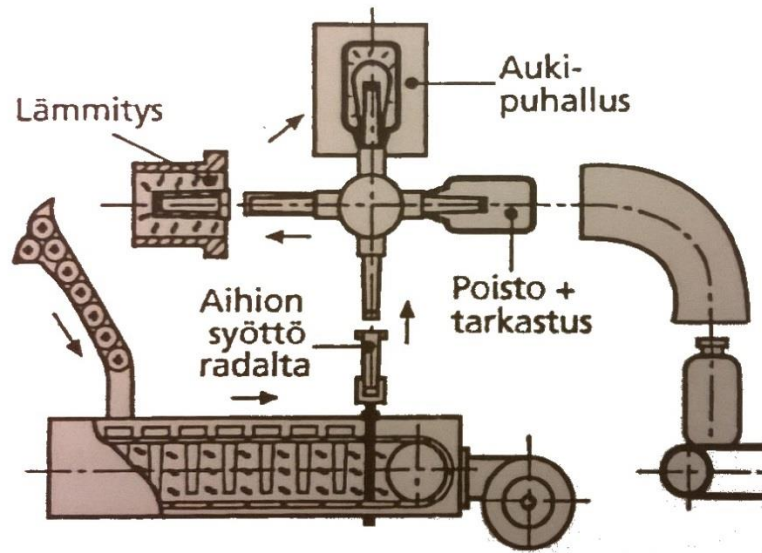
Kuva 9. Ekstruusiopuhallus. (Mukailtu Conaplat. 2014).

Ekstruusiopuhallusmuovaus mahdollistaa pullojen valmistuksessa monenlaisia eri muotoja esimerkiksi, erikokoisten pullojen, erilaisten pullonkaulojen tai kahvallisten kanistereiden valmistuksen. Valmistaminen on erittäin nopeaa ja jotkut laitteet pystyvät valmistamaan jopa 300–350 pulloa tunnissa. Ekstruusiopuhallus sopii piensarjatuotantoon ja sen käyttöön soveltuvat monet eri muovit esimerkiksi PE-HD ja PP. Ekstruusiopuhallusmuovaukseen tarvittavat muotit ovat yleisesti halvempia kuin ruiskuvalupuhallusmuovauksen ja ne voidaan valmistaa lyhyemmässä ajassa. (Conaplat. 2014.)

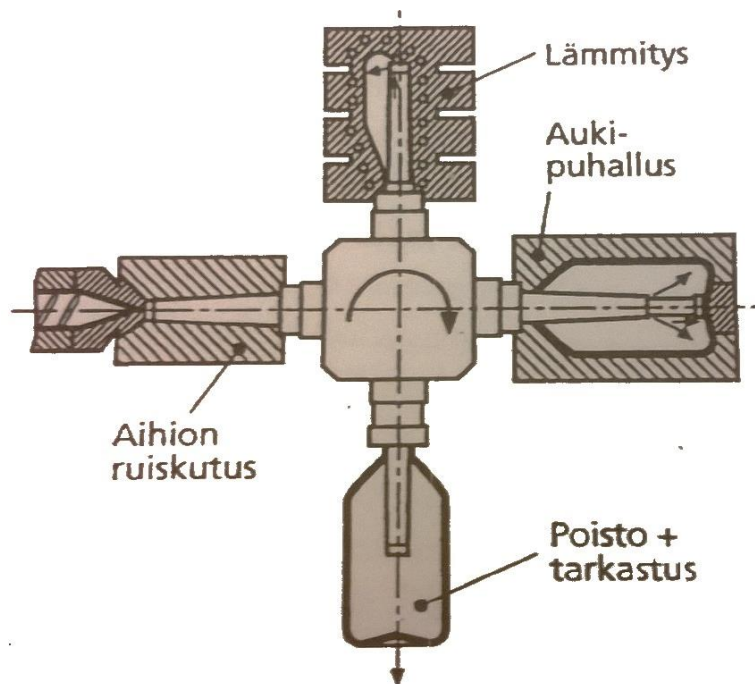
Ekstruusiopuhallusmuovauksen erityissovellutuksilla, venytyspuhallus ja koekstruusiopuhalluksella voidaan valmistaa myös muovipulloja. Venytyspuhallus tapahtuu samoin kuin ekstruusiopuhallus mutta letkun ollessa puhallusmuotissa, venytetään letkua puhalluskarassa olevan venytystapin avulla pituussuuntaan. Puhallusilman virratessa aihion sisään, ilma venyttää samanaikaisesti letkua sivusuuntaan muotin muotoja vasten. Menetelmällä saadaan tehokkaasti molempiin suuntiin orientoituja tuotteita, joiden mekaaniset ominaisuudet esimerkiksi iskulujuus kasvavat. Menetelmä soveltuu esimerkiksi suuri- tai pienisuuaukkoisten purkkien valmistamiseen. (Kurri, V. ym. 1999, s 117; Muovimuotoilu. 2014.)

Koekstruusiopuhallus mahdollistaa monikerroskalvojen valmistamisen. Letkuaihio valmistetaan useamman ekstruuderin avulla, jolloin sulavirratt johdetaan samaan valupäähän. Puhaltaminen tapahtuu ekstruusiopuhalluksen tavoin. Menetelmä mahdollistaa esimerkiksi kierrätetyn muovimateriaalin käytön välikerroksissa ja neitseellisen muovimateriaalin käytön ohuina kerroksina pullon sisä- ja ulkopinnoilla. (Conaplat. 2014; Kurri, V. ym. 1999, s 117; Muovimuotoilu. 2014.)

Puhallusmuovauksessa eniten käytetty valmistusmuoto on ruiskuvalupuhallusmuovaus. Tämä johtuu PET-juomapullojen käytön kasvusta. Ruiskuvalupuhalluksessa on olemassa kaksi erilaista valmistustekniikkaa. Muovipullon aihio valmistetaan ruiskuvalamalla, joka uudelleen lämmitetään ja puhalletaan pulloksi, Kuva 10. Toinen tapa on samassa prosessissa aihion valmistaminen ruiskuvalamalla ja puhaltaminen pulloksi, Kuva 11. Ruiskuvalupuhallus sopii erittäin hyvin mittatarkoille tuotteille, joissa esimerkiksi pullon kaulan kierteet ja yksityiskohdat ovat oltava toleranssissa. Ruiskuvalupuhalluksessa voidaan käyttää myös hyvin monipesäisiä muotteja, prosessissa ei ole painonvaihteluja ja kustannukset ovat alhaiset suurivolyymisillä pienillä 37 gramman pulloilla. Uusimmilla ruiskuvalupuhalluskoneilla ei synny muovijätettä eikä muovituotteiden erillistä trimmausta tarvita. Tuotannossa saattaa syntyä vain satunnaisia, ei toleranssien sisällä olevia muovipulloja, jotka saattavat päätyä uudelleen hiottaviksi. Ruiskuvalupuhalluksella on kuitenkin rajalliset pullojen koot, joita voidaan valmistaa. Lisäksi työkalujen kustannukset ovat suuremmat kuin ekstruusiopuhalluksella. Menetelmä ei myös mahdollista kahvallisten pullojen valmistusta. Monikerrostekniikkaa ja venytyspuhallusta voidaan soveltaa ruiskuvalupuhalluksessa samaan tapaan kuin ekstruusiioon perustuvissa menetelmissä. (Conaplat. 2014; Kurri, V. ym. 1999, ss. 117-118; Lee, N. 2006, ss. 4-6.)



Kuva 10. Aihio valmistettu aikaisemmin (Mukailtu Kurri, V. ym. 1999, s.118).

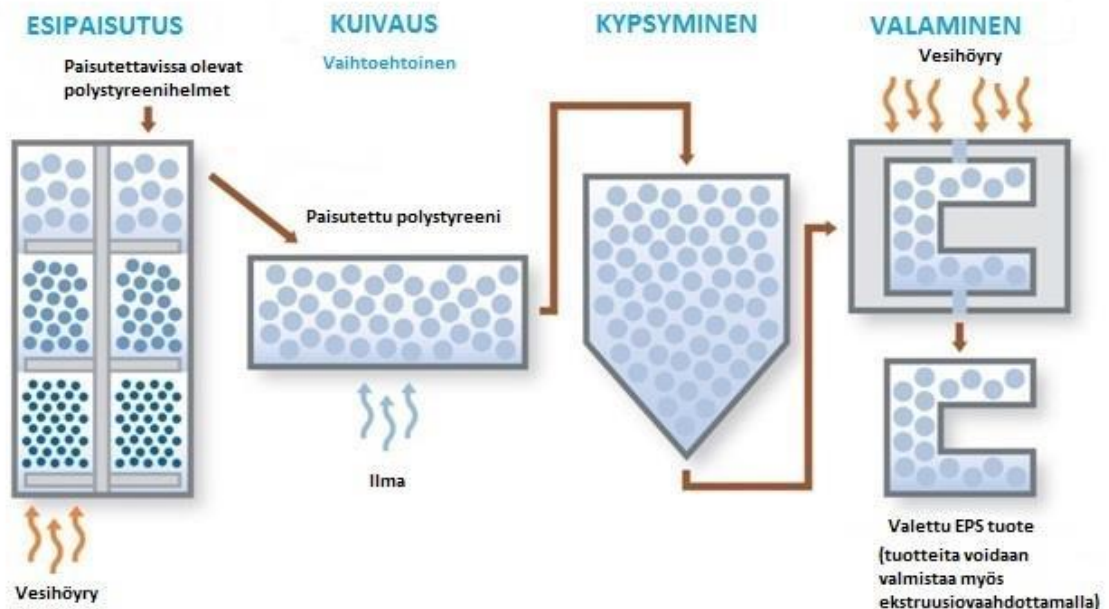


Kuva 11. Aihio valmistuu puhalluskoneessa (Mukailtu Kurri, V. ym. 1999, s.118).

2.1.2 Solupolystyreenin, EPS valmistus

EPS on hyvin kevyttä materiaalia, josta voidaan valmistaa monipuolisesti erilaisia tuotteita. Se soveltuu paitsi keveytensä mutta myös tärinänvaimennuskykynsä ja puristuslujuutensa ansiosta pakkausten suoja- ja kuljetusmateriaaliksi. EPS on lämmöneristyskykynsä, keveytensä ja kustannustehokkuutensa ansiosta usein käytössä erilaisissa termoastioissa, joissa tarvitaan kylmä- tai lämminsäilytystä esimerkiksi lääketieteessä ja ruokapakkauksissa. (Huhtamäki a. 2014; Kurri, V. ym. 1999, ss. 120-121; Pharmaceutical & Medical Packaging News. 2010.)

Solupolystyreeniä myydään vain polystyreenihelmenä, johon on ponnekaasuksi imeytetty pentaania. EPS-helmien valmistus tapahtuu suspensiopolymerointina sekoitusreaktorissa panosprosessina. Solupolystyreenimuovituotteita valmistettaessa Kuvassa 12, lisätään EPS-helmien sekaan vesihöyryä, jolloin helmet reagoivat pentaanin kanssa ja paisuvat noin 50-kertaiseksi. Samalla EPS-helmet liimaantuvat toisiinsa. Eri tiheyksisiä EPS-tuotteita, jotka vaihtelevat yleensä välillä 10-50 kg/m³ on mahdollistaa valmistaa helmien syötön määrää ja käytettyä painetta vaihtelemalla. Solupolystyreeni on hyvin jäykkää ja kevyttä vaahtoa, jolla on erinomaiset eristysominaisuudet. Tuotteita valmistettaessa, valmistus tapahtuu valamalla, joka muistuttaa ruiskuvalutapahtumaa tai ekstruusiovaahdottamalla. Valamalla valmistetaan erilaisia säilytysrasioita elintarvikkeille esimerkiksi kylmälaukkuja ja ruokarasioita. Ekstruusiotekniikalla valmistetaan pääasiassa eristyslevyjä, joita jatkokäsittelyssä kuumalankaleikkauksella voidaan valmistaa erikokoisiksi eristyslevyiksi. (Kurri, V. ym. 1999, ss. 120-121.)

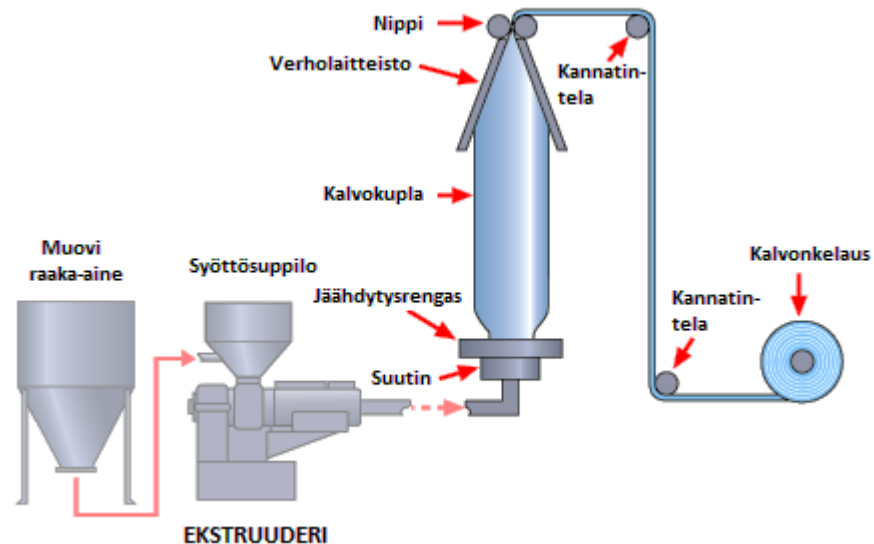


Kuva 12. EPS:n valmistaminen (Mukailtu Styro. 2013).

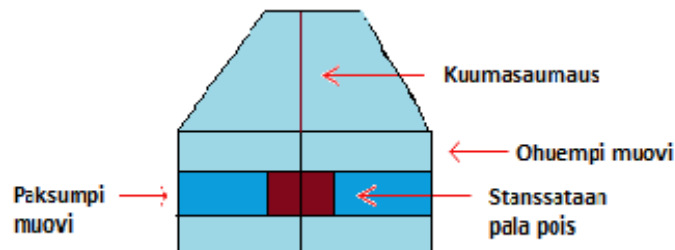
2.1.3 Muovikassin ja muovipussin valmistus

Muovikassin ja muovipussin ero on häilyvä. Yhtenä erona voidaan pitää sitä, että kevyitä muovipusseja, joihin lukeutuu suurin osa EU:ssa käytettävistä muovikasseista, käytetään harvemmin uudestaan kuin paksumpia muovikasseja. Suomessa käytetyin materiaali muovipusseissa on PE-LD, joka eroaa paljon muiden maiden tavoista. Lisäksi muovikasseissa käytetään jopa 90 % kierrätysmateriaaleja. Muualla maailmassa käytetään paljon ohutta, kovaa ja herkemmin rikki menevää PE-HD:tä. PE-HD on käytössä esimerkiksi hedelmä- ja vihannespusseissa ja sen tunnistaa pussin kahisevasta ominaisuudesta. Roskaamisongelmien takia, näitä pusseja on jouduttu kieltämään. Muovipusseja valmistetaan myös polypropeenikalvosta, joka on pakastuksenkestävää ja soveltuu esimerkiksi leipäpussien materiaaliksi. (A-kassi. 2014; Suominen. 2014; Väisänen, M. 2014.)

Muovikassit ja pussit valmistetaan kalvonvalmistuksella, tasokalvon tai yleisimmin puhalluskalvoekstruusiomenetelmän avulla. Puhalluskalvomenetelmässä Kuvassa 13, ekstruuderin kautta tuleva sula muovi ohjataan rengassuuttimelle. Muovi puristetaan rengassuuttimen kautta muoviletkuksi ja letkun pää suljetaan kalvokoneen vetotelojen avulla. Suuttimen keskeltä puhalletaan ilmaa letkun sisään. Letkun pullistuessa, nostetaan sitä samalla nipin läpi pujotetulla narulla kohti nippiä. Puhallusta jatketaan kunnes haluttu kuplan suuruus on saavutettu. Lopuksi kalvoletku johdetaan kelaukseen. Kalvopuhallus tapahtuu tavallisesti alhaalta ylöspäin mutta se voi tapahtua myös ylhäältä alaspäin tai harvoin vaakatasossa. Keskeisimpiä vaikutusmenetelmiä syntyvän kalvon ominaisuuteen ovat ekstruuderin pyörimisnopeus, ilmamäärän säätö ja puhallusrenkaan raon muuttaminen. Kalvon paksuutta voidaan säädellä muuttamalla kelausnopeutta, ekstruuderin ruuvin kierrosnopeutta sekä puhallettavan ilman määrää. Merkittävin paksuuden säätelijä on kelausnopeus, joka on säädettävissä portaattomasti 0-100 m/min. Kalvon leveyttä voidaan säädellä kalvokuplan sisällä olevan ilman määrällä. Puhalletun kalvon ja suuttimen halkaisijoiden välistä suhdetta kutsutaan puhallussuhteeksi. Vetosuhteella tarkoitetaan kalvon vetonopeuden suhdetta sulan muovimassan nopeuteen suuttimella. Puhallussuhdetta tai vetosuhdetta muuttamalla voidaan vaikuttaa syntyvän kalvon orientoitumiseen, puhallussuhteella kalvon poikittaiseen orientoitumiseen ja vetosuhteella kalvon pituussuuntaiseen orientoitumiseen. Kalvon valmistuksen jälkeen on vuorossa kalvon saumaaminen kassiksi. Saumauskone tekee kalvoista halutun muotoisia ja kokoisia. Muovipussien valmistuksessa sankojen henkselit saadaan kalvon kuumasaukauksen jälkeen stanssaamalla pala pois, lisäksi on tärkeää saada kalvo paksummaksi kassin sankojen kohdalta, koska suurin rasitus kohdistuu kantaessa niihin, Kuva 14. Paksumuus on mahdollista tehdä suutinrakoa sopivasti väljentämällä, jonka muotoiluun perustuu myös minigrip-pussien sulkumekanismi. (Järvinen, P. 2008, ss. 175-176; Kurri, V. ym. 1999, ss. 101-105.)

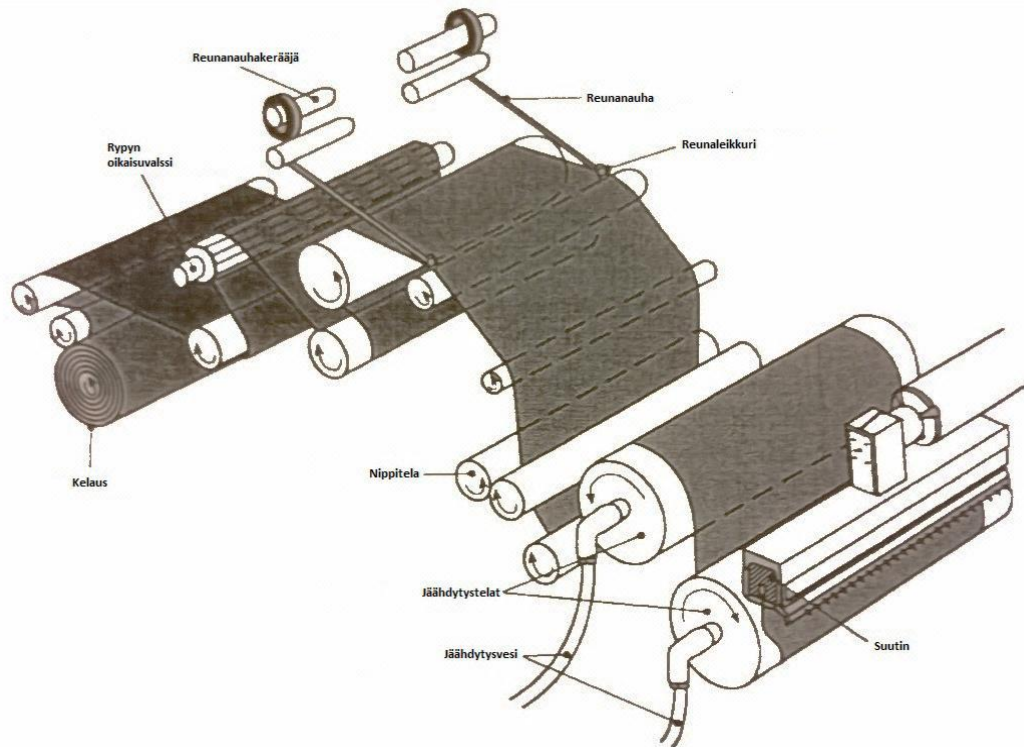


Kuva 13. Yksinkertainen kalvonpuhalluslaitteisto (Mukailtu Eastman. 2014).



Kuva 14. Muovikassin kantohenkselien valmistus (Mukailtu Kurri, V. ym. 1999, s.103).

Tasokalvomenetelmässä Kuvassa 15, ekstruuderissa plastisoitu raaka-aine johdetaan tasosuuttimelle, josta se valuu edelleen jäähdytystelan pinnalle. Mahdollisimman pienen kalvon kurouma-ilmion saamiseksi, kalvo pyritään johtamaan nopeasti ilmaharjaa apuna käyttäen jäähdytystelan pinnalle. Kalvon reuna-alueet jäävät kurouman takia muuta osaa paksummiksi ja siksi ne leikataan pois ennen kelausta. Poisleikattu reunanauha pystytään yleensä käyttämään uudestaan raaka-aineena. Telojen kehänopeus ja suuttimesta ulosvirtaavan muovin nopeus määräävät kalvon paksuuden. Suuttimen suutinrakoa voidaan säätää mekaanisesti tai ns. lämpöruuvien avulla. Orientointi on mahdollista tasokalvolla ratasuuntaan kuin poikittaissuuntaan. Tasokalvomenetelmää käytetään yleensä PVC-, PA-, PS- sekä PP-kalvojen valmistukseen. Polyeteeni on tasokalvona varsin harvinainen mutta tasokalvomenetelmää käytetään erilaisten yhdistelmäkalvojen valmistuksessa, jolloin PE on usein yhtenä raaka-aineena. (Järvinen, P. 2008, ss. 175-176; Kurri, V. ym. 1999, ss. 106-107.)



Kuva 15. Tasokalvolaitteisto (Mukailtu Kurri, V. ym. 1999, s.106).

2.1.4 Elintarviketeollisuuden muovirasiapakkaukset

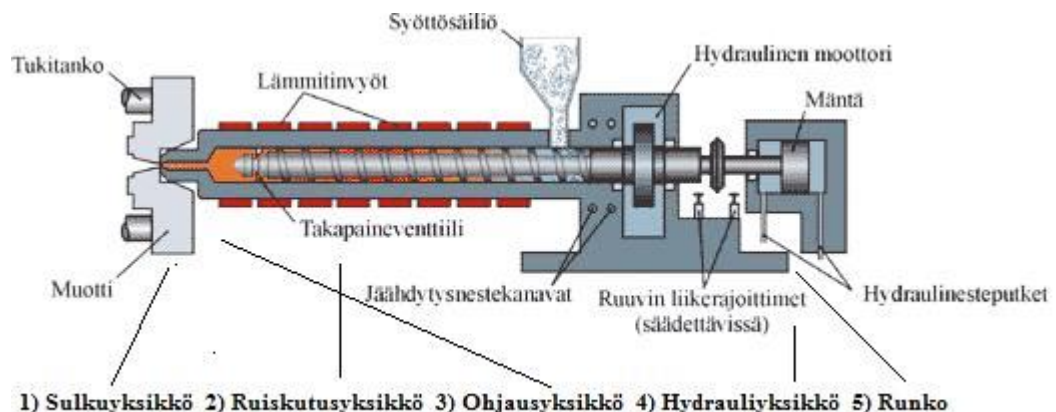
Elintarviketeollisuuden rasiat koostuvat pääosin meijeriteollisuuden, tuoreliha- ja valmisruokien tarvitsemista muovirasioista, pikareista ja kansista. Pakkauksia valmistetaan yleensä kahdella eri tavalla, ruiskuvalamalla tai lämpömuovaamalla. Elintarviketeollisuuden pakkauksissa käytetyimmät materiaalit ovat polypropeeni, polystyreeni ja polyeteenitereftalaatti. (Artekno. 2012; Paccor. 2010).

Ruiskuvalutekniikka on vanhin ja yleisin sulatyöstömenetelmä. Tuotanto on pitkälle automatisoitu ja tekniikalla voidaan nykyisin valmistaa monimuotoisia ja useita materiaaleja sisältäviä ruiskuvalukappaleita ilman jälkikäsittelyjä. Ruiskuvaluprosessiin on nykyisin pystytty integroimaan myös muita prosessimenetelmiä esimerkiksi painatus ja kovapinnoitus. Menetelmä soveltuu suurien sarjojen ja erikokoisten kappaleiden valmistukseen. Ruiskuvalukoneet, muotit ja oheislaitteet ovat kalliita mutta muovi on granulaattina halpaa, lisäksi prosessista syntyvää jätettä pystytään käyttämään uudelleen. Valmistusprosessissa muovi plastisoidaan homogeeniseksi massaksi lämmön avulla. Sulanut polymeeri ruiskutetaan nopeasti suurella paineella jäähdytettävään muottiin. Suljetussa muotissa muovi jähmettyy, josta se avattaessa voidaan työntää ulos. (Järvinen, P. 2008, ss. 180-182; Kurri, V. ym. 1999, ss. 71-72.)

Työkierto eli sykli voidaan jakaa eri vaiheisiin muotin sulkua, ruiskutusyksikön liike eteen, ruiskutus ja jäähdytyksen alkaminen, jälkipaine, ruiskutusyksikön liike taakse,

annostus ja plastisointi, muotin aukaisu sekä kappaleen ulostyöntö. Yhteen työkiertoon kulunutta aikaa kutsutaan jaksonajaksi. (Kurri, V. ym. 1999, s. 78.)

Kuvassa 16 on esitelty ruiskuvalukone, joka jaetaan tyypillisesti sulkuyksikköön, ruiskutusyksikköön, ohjausyksikköön, hydrauliyksikköön ja runkoon. Sulkuyksikön tehtäviä ovat esimerkiksi muotin liikkeen säätely sulku- ja avausvaiheessa, muotin pitäminen kiinni ruiskutus- ja jälkipaineessa sekä kappaleen irroitus ulostyöntämällä. Sulkuyksiköitä on erimallisia ja muottipöytien väliin kiinnitettävä muotti tulee saada nopeasti kiinnitettyä ja vaihdettua. Ruiskutusyksikön tehtäviä ovat muovigranulaatin vastaanotto, sen plastisointi haluttuun lämpötilaan, massan sekoitus homogeeniseksi sekä polymeerisulan ruiskutus muottipesiin halutulla nopeudella. Ohjausyksikön tehtäviä ovat ruiskuvaluprosessin säätö ja valvonta. Tietokoneen avulla ohjataan ruiskuvalukoneen toimintoja. Hydrauliyksikön keskeisin tehtävä on aikaansaada liike hydraulisten toimilaitteiden avulla. Rungon tehtävä on kestää esimerkiksi sulkuvoiman rasitukset koko koneen elinajan ajan. Koneiden rungot ovat suurimmissa koneissa sulkuyksikön ja ruiskutusyksikön välillä kaksiosaisia mutta liittyvät toisiinsa kiinteästi. (Järvinen, P. 2008, ss. 180-182; Kurri, V. ym. 1999, ss. 71-77.)

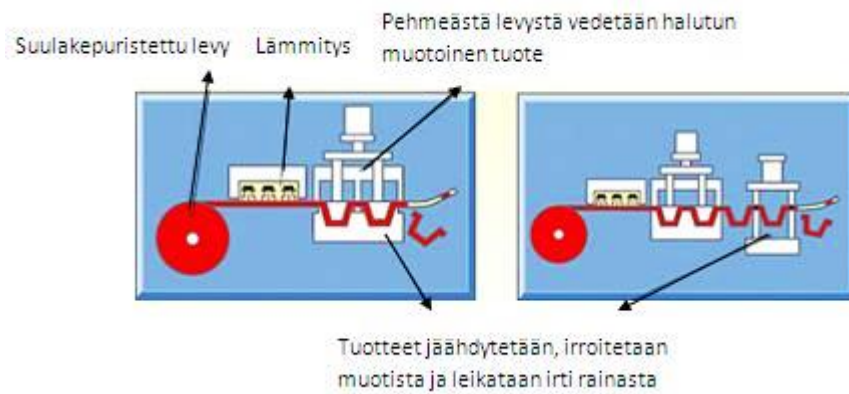


Kuva 16. Ruiskuvalukone (Mukailtu Muovit. 2005).

Lämmön avulla muovaamista puolivalmisteista eli muovilevyistä kutsutaan lämpömuovaukseksi. Tekniikan avulla saadaan jatkojalostettua monipuolisia muotoja muovilevyistä. Lämpömuovauksessa muovilevy asetetaan muottiin ja lämmön sekä paineen avulla levy painetaan vasten muottia, jolloin saadaan kopioitua muoto. Lämpömuoksen muotit ovat edullisempia kuin ruiskuvalumuotit ja pienille tuotantomäärille ne voidaan valmistaa esimerkiksi lujitemuoveista, puusta tai alumiinin ja epoksin seoksesta. (Huhtamäki b. 2014; Järvinen, P. 2008, ss. 191-192.)

Suuria sarjoja valmistetaan alle 1 mm paksuisista levyistä, jolloin usein lämpömuovaaja valmistaa itse levyn ekstruusion avulla ja syvävetää sen heti perään. Syvävedossa, Kuva 17 levyä lämmitetään kunnes se on riittävän pehmeää syvävetämiseen. Pehmeästä levystä vedetään halutun muotoinen tuote urospuolisen muotin, alipaineen ja/tai korkean ilmanpaineen avulla. Lopuksi tuotteet jäähdytetään,

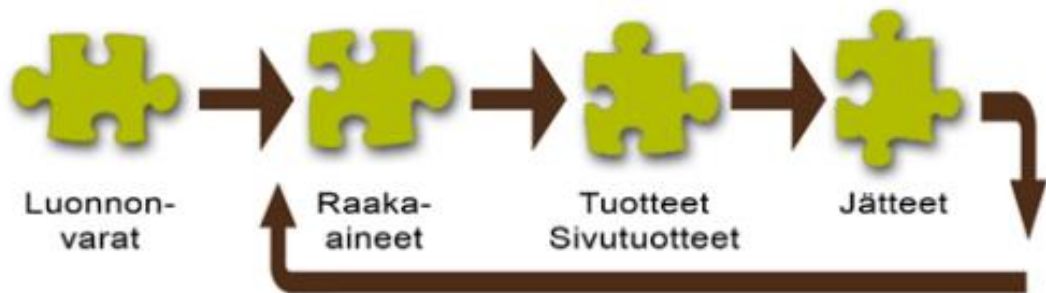
irrotetaan muotista ja leikataan irti rainasta. Prosessissa syntyvä leikkuujäte käytetään uudelleen, jauhamalla se muovigranulaateiksi ja syöttämällä se uudelleen suulakepuristimeen. Syvävetoa käytetään yleisesti esimerkiksi jogurttipurkkien ja kertakäyttömukien valmistuksessa (Huhtamäki b. 2014; Järvinen, P. 2008, ss. 191-192.)



Kuva 17. Syväveto (Huhtamäki b. 2014).

3 MATERIAALITEHOKKUUS

Maailmanlaajuinen ongelma tulevaisuudessa on luonnonvarojen riittävyys sekä kasvavasta tuotannosta ja kulutuksesta aiheutuvat ympäristövaikutukset. Luonnonvaroja kulutetaan tällä hetkellä enemmän kuin niitä syntyy. Materiaalitehokkuudella tarkoitetaan kilpailukykyisten tuotteiden ja palveluiden aikaansaamista mahdollisimman pienin materiaalipanoksin niin, että haitalliset vaikutukset vähenevät elinkaaren aikana. Materiaali- ja ekotehokkaassa tuotannossa, tämä tarkoittaa luonnonvarojen säästeliästä käyttöä ja pyrkimystä käyttää uusiutuvia materiaaleja, materiaalien vähempää käyttöä, energian kulutuksen minimointia, sivuvirtojen tehokasta hallintaa, myrkyllisten aineiden vähentämistä, tehokasta logistiikkaa, jätteen määrän vähentämistä sekä materiaalin tehokasta kierrätystä tuotteen elinkaaren eri vaiheissa. Syntyvien tuotteiden tulisi olla kestäviä ja niiden kierrätys, uudelleenkäyttö tai jätteenä hyödyntäminen pitäisi olla mahdollista. Materiaalitehokkaassa toiminnassa säästetään luonnonvarojen ja ympäristön ohella myös rahaa kun samasta materiaalmäärästä valmistetaan enemmän tuotteita. Kuvassa 18 on esitelty tuotteen ideaali elinkaari. (Elinkeinoelämän keskusliitto. 2008; Motiva c. 2014; Työ- ja elinkeinoministeriö & Ympäristöministeriö. 2013, s.10.)



Kuva 18. Tuotteen ideaali elinkaari (Elinkeinoelämän keskusliitto. 2008).

Materiaalitehokkaiden tuotteiden kysynnän luomisessa avainasemassa ovat kotitaloudet ja kuluttajat. Luonnonvarojen kestävää käyttöä voidaan edistää, ostamalla harkiten ja kestäviä tuotteita sekä välttämällä jätettä. Materiaalitehokkuutta kannattaa edistää myös elinkeinoelämässä ja yrityksissä koska sillä on suora yhteys kilpailukykyyn, kustannuksiin ja yhteiskuntavastuun toteuttamiseen. Materiaalitehokkuus ei ole kuitenkaan pelkästään tuotannon ja tuotannonsuunnittelun asia. Liiketoiminnan kannalta tulisi perehdyttää ja sitouttaa myös tutkimus- ja kehitystoiminta, myynti, logistiikka, laskenta ja rahoitukseen osallistuvat avainhenkilöt. Käytännössä materiaalitehokkuus voidaan mieltää osaksi ekologista ja taloudellista

tehokkuutta. (Elinkeinoelämän keskusliitto. 2008; Motiva b. 2014; Työ- ja elinkeinoministeriö & Ympäristöministeriö. 2013, s.10.)

3.1 Pakkausten materiaaalitehokkuuteen vaikuttavat asiat

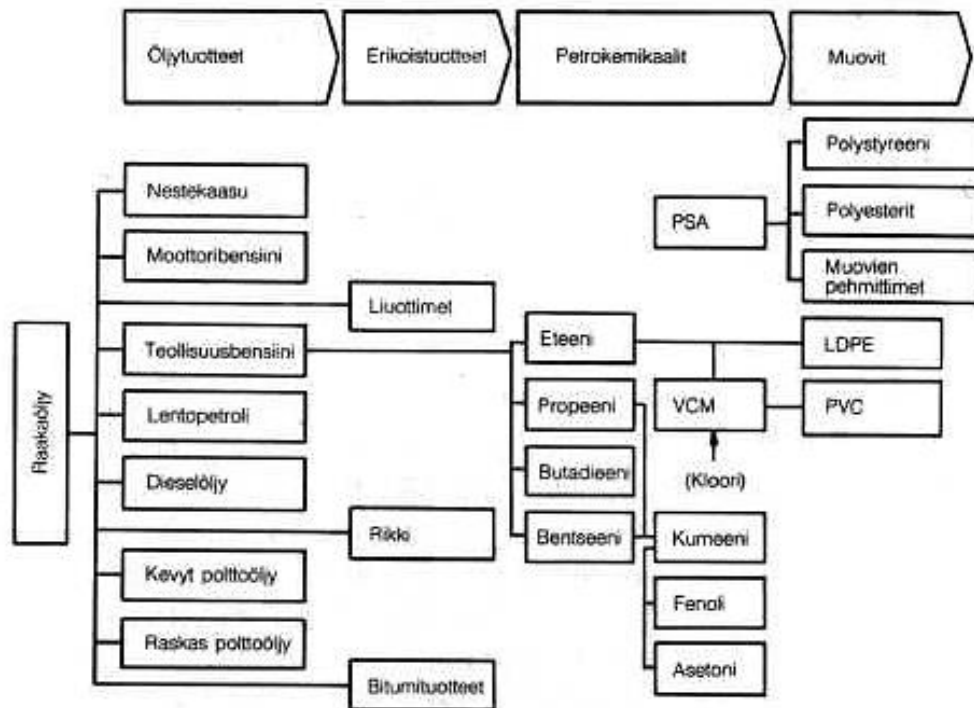
Tässä työssä käsiteltyjen muovipakkausten muovipullojen, solupolystyreenin, muovikassien- ja pussien sekä elintarviketeollisuuden muovirasoiden materiaaalitehokkuuteen pystytään vaikuttamaan monin eri tavoin. Työhön on valittu yleisimmät vaikuttavat asiat materiaaalitehokkuudessa kuten luonnonvarat, muovipakkausten keveys, prosessointi, suunnittelu, suursarjatuotanto, älypakkaukset sekä lainsäädäntö ja kierrätys.

3.1.1 Luonnonvarat

Raaka-aineiden käyttö on viime vuosina kasvanut esimerkiksi monien kehittyvien maiden alkaessa käyttää niitä laajemmin ja enemmän. Luonnonvarojen riittävyys voi nousta jopa yhtä tärkeäksi kysymykseksi kuin ilmastonmuutos sitä mukaa kun esimerkiksi Aasian maat vaurastuvat. Väkirikkaat maat ja itäisen Euroopan nopea taloudellinen kehitys ovat siirtäneet kestokulutustuotteiden painopisteen itään päin. Tällä hetkellä Kiinassa ja Intiassa vain pienellä osalla 2,5 miljardin väestöstä on edellytyksiä länsimaiseen kulutustasoon, mutta ajan saatossa kulutus kasvaa teollisuusmaiden tasolle. Saksassa tehdyn varovaisen tutkimuksen mukaan luonnonvarojen kysyntä voi nousta seuraavan 50 vuoden kuluessa jopa 2-5 kertaiseksi nykytasoon verrattaessa eli vuodessa 670 miljardiin tonniin. (Elinkeinoelämän keskusliitto. 2008.)

Muovit ovat suurimmalta osaltaan petrokemian tuotteita ja ne valmistetaan öljystä, joka luokitellaan uusiutumattomaksi luonnonvaraksi. Raaka-aineet syntyvät öljyn jalostuksen jo olemassa olevista prosesseista. Aikaisemmin prosessin ylijäämät hiilivetyvirrat poltettiin öljynjalostamoiden soihduissa taivaalle, joten muovien valmistaminen öljyn sivuvirroista on huomattavasti parempi vaihtoehto. Muovin ympäristövaikutuksia syntyy öljynporauksesta ja öljyn erilaisissa käsittelyprosesseissa sekä muovikuidun käsittelyprosesseissa. On totta, että joitain muoveja on hankala hävittää niiden elinkaaren loppuvaiheessa mutta niistä on kuitenkin mahdollista saada talteen muoveihin sitoutunut lämpö ja hyödyntää se esimerkiksi energiana. (Ashby, M.F. 2013, s. 490; Muoviteollisuus Ry.)

Suomessa Neste Oil valmistaa petrokemian tehtaillaan raakaöljystä saatavasta teollisuusbensiinistä esimerkiksi propeenaa ja eteeniä, jotka ovat muovien raaka-aineita. Teollisuusbensini kuumennetaan uuneissa, jolloin sen hiilivetymolekyylit pilkkoutuvat ja näin kemiallinen rakenne muuttuu. Tämän jälkeen eri hiilivedyt erotellaan toisistaan prosessiteknisin keinoin ja eteeni ja propeeni menevät muovitehtaille, jotka valmistavat niistä muovia. Kuvassa 19 on esitelty raakaöljyn tuotantoketju öljystä muoviksi. (Pihkala, J. 2011.)



Kuva 19. Raakaöljyn tuotantoketju muoveiksi (Pihkala, J. 2011).

Kaikkien muovituotteiden valmistamiseen riittää 4 % maailman uusiutumattomista fossiilisista raaka-aineista. Muovipakkausten valmistamiseen Euroopassa käytetään alle 1,5 % kaikesta kulutetusta kaasusta ja öljystä. Öljy ei ole välttämätön raaka-aine muovien valmistamisessa ja niitä voidaan valmistaa myös muista hiilivedyistä, joita saadaan esimerkiksi biologisista prosesseista. Tuotteet voivat olla perinteisiä muoveja tai biologisesti hajoavia. Muovi voi olla alkuperältään esimerkiksi maa- ja metsätalouspohjaista tuotetta. Tällä hetkellä biopohjaisten muovien osuus on vain noin 1 %, mutta markkinoiden oletetaan kasvavan. (Muoviteollisuus Ry; PlasticsEurope a. 2013.)

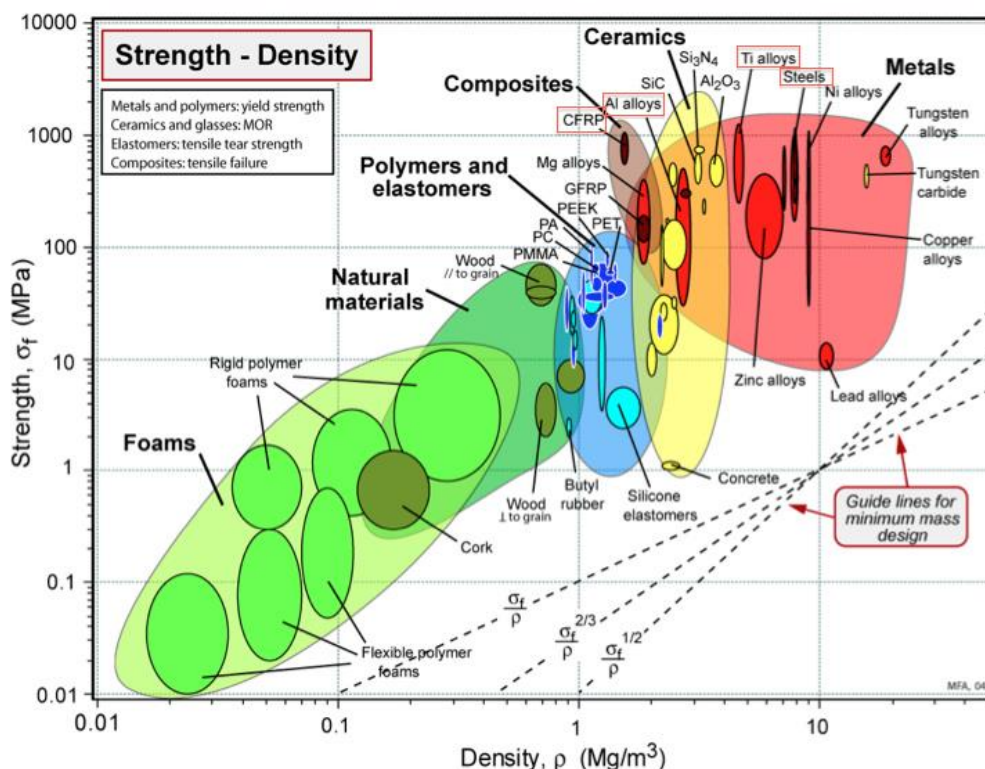
Luonnonvarojen ja materiaalien säästämiseen löytyy useita keinoja. Tärkein keino on kulutuksen vähentäminen. Luonnonvarojen järkevää käyttöä ohjataan lainsäädännöllä mutta myös teknologian kehitys parantaa energia- ja materiaalitehokkuutta ja sitä kautta säästetään luonnonvaroja. Lisäksi materiaalitehokkaassa suunnittelussa on tärkeää ottaa huomioon luonnonvarojen kokonaiskuva, jotta ongelmat eivät siirry yhdestä tuotantoketjun kohdasta toiseen. (Ilmasto-opas.fi. 2014.)

3.1.2 Keveys

Materiaalitehokkuuteen selkeästi vaikuttava asia on tuotteen ja sen raaka-aineen keveys. Muovit ovat kevyitä ja niiden hyödyt perustuvat materiaalitehokkuudessa suurelta osin juuri tähän. Kevyet muovipakkaukset auttavat yrityksiä vähentämään pakkausmateriaaleja. Esimerkiksi, käyttämällä logistiikassa ja pakkaamisessa muoveja

saadaan selviä ympäristö- ja kuljetussäästöjä ja keveys on suorassa suhteessa fossiilisten polttoaineiden kulutukseen. Pakkauksen keveys ja sen keventyminen on myös suorassa yhteydessä syntyvään jätteen määrään. Vallalla on kuitenkin käsitys, että muovipakkauksilla ylipakataan tuotteita ja niin sanottua turhaa pakkaamista esiintyisi. Muovipakkaukset ovat kuitenkin vuosien saatossa merkittävästi keventyneet ja jatkavat keventymistään uusien materiaalien kehittyessä. Esimerkiksi kymmenen vuotta sitten käytimme keskimäärin 28 % painavimpia muovipakkauksia Euroopassa. (Muovipoli Oy. 2014, s.34; Muoviteollisuus Ry. 2014; PlasticsEurope a. 2013.)

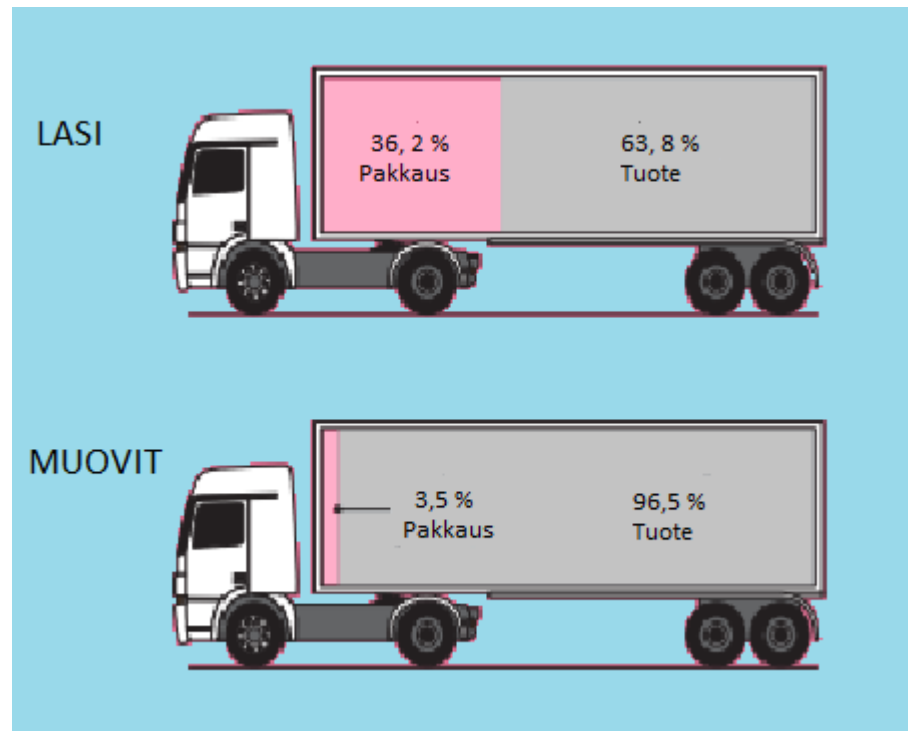
Muovien keveyteen vaikuttaa suurelta osin niiden alhainen tiheys eli ominaispaino. Suhteessa tiheyteen on muovien lujuus hyvä, kun niitä verrataan muihin materiaaleihin. Kuvassa 20 on esitelty muovien sijoittuminen lujuus-tiheys kaaviossa muiden materiaalien kanssa. Kaaviosta huomataan, että polymeerien tiheys on noin 1 g/cm^3 lujuuden ollessa noin 30-50 MPa. Verrattaessa tätä metalleihin ovat metallien tiheydet noin 10 g/cm^3 , kun lujuudet ovat noin 100 MPa yläpuolella. Kuvasta käy ilmi miksi muovit ovat esimerkiksi pakkausmateriaaleina verrattain hyviä kun lujuutta tarvitaan mahdollisimman kevyeltä tuotteelta. (Ashby, M.F. 2013, s 251; Muovimuotoilu. 2014.)



Kuva 20. Lujuus-Tiheys kaavio (Ashby, M.F. 2013, s 251).

Muovipulloilla on niiden keveyden vuoksi suuri etu verrattaessa niitä esimerkiksi lasipulloon. Kuljetuksessa, muovipulloilla on mahdollisuus saada kevyempiä kuormia, mikä tarkoittaa vähemmän rekka-autoja liikenteessä, kun itse tuotetta pystytään kuljettamaan enemmän, eikä kuorma koostu painavasta pakkausmateriaalista. Kuvassa

21 on esitelty muovipakkauksen etuja kuljetuksessa lasiin verrattuna. Tuotetta pystytään kuljettamaan jopa 36,2 % enemmän kuin esimerkiksi lasipulloihin pakattaessa. Kuljetustila voidaan tehokkaasti hyödyntää itse tuotteella ja kuljetus kuluttaa luonnonvaroja vähemmän kuin raskaampien lasipullojen. (Marine Debris Solutions. 2014; PlasticsEurope b. 2014; Yhteishyvä. 2012.)



Kuva 21. Muovipakkaus on verrattuna lasiin tehokas kuljetuksessa (Mukailtu PlasticsEurope b. 2014).

Muovikassin hyvää sijoitusta selittää ennen kaikkea sen vähäinen materiaalin tarve. Muovikassit valmistetaan Suomessa suurimmaksi osaksi uusiomuovista. Muovikasseja käytetään kestävyys, helppouden, uudelleen käytön, suojaamisen ja suurimmaksi osaksi keveytensä ansiosta. Muoviin on helppo pakata, se suojaa ja siinä on kevyt kuljettaa sekä kantaa tavaroita. Elinkaarensa loppuvaiheessa muovikassit toimivat usein jätekaskeina. Jo aikaisemmin mainittiin, että Euroopassa valtaosa muovikasseista on PE-HD:stä valmistettuja ohuita rapisevia kasseja. Suomessa käytetään näitä noin 4 kappaletta henkeä kohti vuodessa kun Puolassa, Portugalissa ja Slovakiassa vastaava luku on 466. Ohuet muovikassit ovat Euroopassa ja maailmalla suosittuja esimerkiksi niiden keveyden ja helppouden ansiosta. Lisäksi niitä annetaan usein ilmaiseksi ostosten yhteydessä. Ominaisuudet ovat johtaneet siihen, että kasseja leviää ympäristöön helposti ja ne aiheuttavat vakavia roskaamisongelmia. Esimerkiksi Euroopan komissio on hyväksynyt ehdotuksen, jonka mukaan jäsenvaltioiden on ryhdyttävä toimiin kevyiden muovisten kantokassien käytön vähentämiseksi. (A-kassi. 2014; Euroopan komissio a. 2013; Väisänen, M. 2014.)

EPS:n käytetään sen keveytensä, hygieenisyytensä, kosteuden ja iskun kestävyytensä ansiosta pakkausteollisuudessa. Raaka-ainetta ei juurikaan tarvita ja keveys perustuu siihen, että materiaalissa on muovia noin 2 % kun taas ilmaa 98 %. Matalan muovipitoisuutensa ansiosta se on myös erittäin ympäristöystävällinen ja säästää keveytensä ansiosta logistisia kustannuksia. (Epsira. 2014.)

Elintarvikkeet pakataan useimmin muovipakkauksiin ja jos näin ei tehtäisi, kasvihuonekaasupäästöt kolminkertaistuisivat, elintarvikeketjun energiantarve kaksinkertaistuisi ja ruokapakkausten paino kasvaisi 360 % nykyisestä. Tästä hyötyy ennen kaikkea logistiikka-ala, sillä kevyt muovipakkaus, kevyellä kuljetusratkaisulla, tuo säästöä sekä rahassa että ympäristön kannalta. (Muoviteollisuus Ry. 2014; PlasticsEurope a. 2013.)

3.1.3 Muovipakkausten suunnittelu

Muovipakkauksen suunnittelu ei poikkea valtavasti muista materiaalien suunnittelusta mutta monet tekijät helpottavat sitä huomattavasti. Pakkausta suunniteltaessa alku on kaikkein kriittisin vaihe ja se tulee tehdä huolellisesti. Hyvin suunniteltu tuote hyödyttää eniten kaikkia tuotesuunnitteluprosessin vaiheita. Tuotteen teknisellä suunnittelulla tavoite on yhdistää oikea materiaali, muotoilu ja oikeanlaisesti muotoiltu muotti. Muotoilu on muoveilla helppo suunnitella niin, että tuotteet ovat tehokkaasti pakattavissa tai ne toimivat muotoilunsa ansiosta tehokkaina pakkausmateriaaleina. Muovipakkauksesta tulisi tulla funktionaalisesti toimiva ja tehokas sekä sen tulisi sisältää siltä vaaditut ominaisuudet. Erityisesti materiaalitehokkuuteen suuresti vaikuttava raaka-aineen ja materiaalin käyttö tulisi minimoida ja hävikkiä vähentää. Toiminta on suunniteltava niin, ettei se vaikuta tuotteen toimintaan tai laatuun. Suunnittelijan tulee osata arvioida pakkausta myös kuluttajan asemasta, lisäksi huomioida sille asetetut vaatimukset. Tuotesuunnittelu prosessi voidaan jakaa myös eri osiin ja yhtenä esimerkkinä on tuotteen materiaali- ja energiatehokkuus. Kuvassa 22 on esitelty esimerkki suunnitteluprosessin eri vaiheista. (Auvinen, S. 2013; Nykänen, S. 2014.)



Kuva 22. Suunnitteluprosessin vaiheet (Nykänen, S. 2014).

Suunnittelupäätöksillä on suuri vaikutus materiaalien kulutukseen ja siten kustannuksiin ja ympäristövaikutuksiin. Selvitysten mukaan suunnitteluvaiheessa, määräytyy 70–80 % tuotteen elinkaaren aikaisista ympäristövaikutuksista. Tuotesuunnittelu määrittelee tuotteessa käytettävät materiaalit, eliniän, tuotepakkaukset, käyttöominaisuudet ja kierrätettävyyden elinkaaren lopussa. Materiaalitehokkuus on parantanut monia tuotteita esimerkiksi kun niiden kokoa ja painoa on pystytty pienentämään. Lisäksi niihin on pystytty lisäämään toimintoja, tekemään niistä kestävämpiä tai helpommin kierrätettäviä. Kehittämällä prosesseja on pystytty minimoimaan resurssien kulutusta ja hävikkiä tuotannossa. Suunnittelussa olisi tärkeää löytää tasapaino materiaali- ja energiatehokkuuden välillä koska energiatehokkuuden lisääminen voi vaatia suuremman materiaalmäärän käyttöä. Tulevaisuudessa suuri haaste on tuotteiden suunnitteleminen niin, että materiaalit ja komponentit voidaan helposti hyödyntää tai käyttää uudelleen elinkaarensa loppuvaiheessa. (Teknologiateollisuus b. 2014, s.24.)

3.1.4 Muovipakkausten prosessointi

Materiaalitehokkuuden kannalta tämän työn kestopuoveilla eli PE, PP, PET, EPS on pakkaustekniikassa erittäin suuri etu. Ne voidaan uudelleen sulattaa ja muotoilla lämmön ja paineen avulla. Muoveja voidaan muovata, ruiskuvalaa, suulakepuristaa, ja lämpöpuhaltaa, useisiin rajoittamattomiin muotoihin toisin kuin muita materiaaleja. Muovipakkausten prosessoinnissa materiaalitehokkuus parantuu, koska usein tuotannon muovisivuvirta voidaan kierrättää ja käyttää raaka-aineena joko saman tai jonkin muun tuotteen valmistukseen. Sivuvirtamateriaali murskataan, rouhitaan tai granuloidaan

helpottamaan raaka-aineen syöttöä. Kierrätetty materiaali käytetään usein sekoittamalla se neitseellisen raaka-aineen kanssa. (Muovipoli Oy. 2014, ss. 32-33.)

Muovipulloja voidaan prosessoida kappaleen 2.1.1 mukaan ekstruusiopuhallusmuovauksella, sen erityissovellutuksilla venytyspuhallus tai koekstruusiopuhalluksella sekä ruiskuvalupuhalluksella. Ekstruusiopuhalluksen etuja materiaalitehokkuuden näkökulmasta katsoen ovat korkeat tuotantonopeudet, alhaiset työkalu- ja laitekustannukset, monipuolisuus ja yksinkertaisuus. Haittana ovat suhteellisen suuri hukkamäärä tuotannossa, ongelmia poistaa ylimääräinen muovi tuotteesta ja seinämänpaksuuden vaihtelut. Venytyspuhalluksen suurin etu on venytyksestä johtuva orientoituminen molempiin suuntiin, jolloin pullon mekaaniset ominaisuudet kasvavat. Menetelmällä on mahdollista vähentää tuotteen painoa jopa 10-15 % verrattaessa muihin menetelmiin. Koekstruusiopuhallus mahdollistaa monikerroskalvon valmistamisen ja sen materiaalitehokkaat hyödyt tulevat esiin kierrätetyn jättemateriaalin ajamisella välikerroksiin. Tällöin neitseellistä materiaalia voidaan käyttää ohuina kerroksien ulko- ja sisäpinnoilla. Ruiskuvalupuhallusmuovauksella on useita etuja verrattaessa esimerkiksi ekstruusiopuhallusmuovaukseen. Menetelmässä ei tarvitse trimmata ylimääräisiä muoveja pois. Ruiskuvalupuhallusmuovauksella on mahdollista valmistaa paksukaulaisia mutta ohutseinäisiä pulloja, lisäksi menetelmällä voidaan muovata useita tuotteita. (Conaplat. 2014; Injection blow molding. 2014.)

EPS-tuotteita valmistetaan pääasiassa ekstruusiovaahdottamalla tai valamalla. Materiaalitehokkuuden kannalta oleellista on, että valmistusprosessissa syntyvät jätteet voidaan rouhimisen jälkeen käyttää suurelta osin prosessissa uudelleen, lisäksi EPS sisältää vain noin 2-5 % tilavuudestaan muoviraaka-ainetta. Valmistaminen on ympäristöystävällistä, eikä siinä käytetä CFC-yhdisteitä. Kevyeen EPS:iin käytetään kuitenkin kiloissa mitattuna enemmän polystyreeniä kuin kaikkiin muihin polystyreenituotteisiin yhteensä. (Epsira. 2014; Järvinen, P. 2008, ss 63-64.)

Muovipusseja ja kasseja valmistetaan kalvonvalmistuksen jatkojalostuksella. Kalvonvalmistus vaatii huolellisuutta, sillä valmistuksessa tapahtunut virhe saattaa myöhemmin moninkertaistua ja vaikeuttaa muovikassien tekoa ja näin osaltaan myös vaikuttaa materiaalitehokkuuteen. Kalvonvalmistuksessa materiaalitehokkuutta lisää se, että prosessissa poisleikatut kalvonreunat voidaan palauttaa katkottuina ja tiivistettyinä takaisin ekstruuderille. Lisäksi PE-LD muovikassien valmistamisessa käytetään raaka-aineena jopa 90 % kierrätysmateriaaleja. (Järvinen, P. 2008, s 165; Kurri, V. ym. 1999, s. 101. Suominen. 2014.)

Elintarviketeollisuuden rasioita valmistetaan pääasiassa ruiskuvalamalla tai lämpömuovaamalla. Ruiskuvalun ongelmat materiaalitehokkuudessa ovat suhteellisen korkeat ja kokonaishävikki on noin 12 %. Pääosin tämän aiheuttaa prosessissa syntyvät valutapit. Materiaalitehokkuutta on parantanut kuumakanavien käyttöön siirtyminen. Kuumakanavat estävät materiaalin jäämisen valukanaviin. Ruiskuvalutuotannossa on kuitenkin mahdollista suora takaisinsyöttö, jossa hävikissä syntyneet valutapit seostetaan rouhittuna uuden raaka-aineen joukkoon. Vaihe on kuitenkin kustannuksia

aiheuttava. Lämpömuovauksessa ongelmia materiaalitehokkuuden kannalta aiheuttaa tyhjiömuovauksen verrattuna suuri materiaalihukka. Hukkaa vaikeuttaa se, että kierrätys on yleensä vaikea järjestää mutta rouhittu muovi voidaan yleensä lähettää takaisin levynvalmistajalle. Materiaalitehokkuutta vaikeuttaa prosessoinnissa myös elintarvikepakkauksissa usein käytetyt monikerroskalvot eli hybridipakkaukset, joiden valmistusprosesseissa syntyvän hukan tai sivuvirtojen hyödyntäminen on usein hyvin haastavaa. Esimerkiksi sivuvirran hyödyntäminen monikerroskalvoilla on vaikeaa koska eri muovit vaativat erilaiset prosessointiparametrit, kuten lämpötilan ja paineet. (Järvinen, P. 2008, s 164; Muovipoli Oy. 2014, s. 14-32)

3.1.5 Suursarjatuotanto

Suursarjatuotannolla tarkoitetaan järjestelmää, jossa kustannukset niin taloudelliset kuin lopputuotteenkin alentuvat, mitä enemmän tuotteita valmistetaan. Suomalaisen teollisuuden näkökulmasta suursarjatuotannolla tarkoitetaan yli miljoonaan kappaleen vuotuista valmistusvolyymia. Järjestelmä on koneellistettu ja hyvin pitkälle automatisoitu, eikä kustannuksia aiheuttavia käsitöitä tuotantovaiheissa juuri ole. Suursarjatuotannossa ei keskitytä muotojen ja yksittäisten osien muokkaamiseen tai työstämiseen. Monimutkaiset kappaleet saadaan valmiiksi kerralla ilman jälkikäsittelyä. Tuotanto on riippuvainen tilastollisesta valmistusmenetelmästä, jossa syntyvän tuotteen osat ovat sille vaadittujen toleranssien sisällä. Suursarjatuotannossa mahdollisimman vähästä määrästä raaka-ainetta pystytään valmistamaan erittäin tehokkaasti mahdollisimman paljon tuotteita. (Kurri, V. ym. 1999, s.72; Rufe, P.D. 2013, s. 351.)

Suursarjatuotantona valmistetaan esimerkiksi virvoitusjuomapulloja. Puhallusmuovausprosessi sopii hyvin isoille valmistuserille. Puhallusmuovauksen erikoismenetelmässä jossa valmistetaan virvoitusjuomapulloja, PET-pullo tuotannon tuntikapasiteetti voi olla noin 12 000 pulloa. Tavallisessa puhallusmuovauksessa käytetään yleensä useampipesäistä muottia kun valmistussarja on suuri ja valmistettava kappale on pieni. (Kaeser Kompressorit. 2014; Muovimuotoilu. 2014.)

Pitkälle automatisoitu ruiskuvalu esimerkiksi elintarvikepakkauksien valmistuksessa sopii suursarjatuotantoon sen korkeiden tuotantomäärien vuoksi. Harvoin alle 100 kappaleen sarjoja kannattaa alkaa valmistaa. (Kurri, V. ym. 1999, s. 72.)

3.1.6 Älypakkaukset

Älypakkaukset ovat jo pitkään tehneet tuloaan pakkausalalle. Tunnetuimpia näistä ovat Kuvassa 23 esitetyt RFID- ja QR-koodit. Radiotaajuinen etätunnistus eli RFID (Radio Frequency Identification), on menetelmä tiedon etälukuun ja tallentamiseen käyttäen RFID-tunnisteita eli tageja. RFID:n etu tavalliseen viivakoodiin, on sen etu sisällyttää pakatusta tuotteesta paljon enemmän tietoa esimerkiksi esimerkiksi tietoa myös pakkausmateriaalista. RFID:n muisti pystyy yksilöimään jokaisen tuotteen ja lisäksi siihen voidaan varastoida, lukea ja päivittää muutakin tietoa useita kertoja. Useitakin RFID-tarroja voidaan lukea samanaikaisesti ilman, että niitä suoraan nähdään tai ollaan

kosketusyhteydessä. Tuotteen aitous pystytään osoittamaan mikrosirun avulla ja materiaalitehokkuuden kannalta tietoa esimerkiksi pakkausmateriaalista pystytään tallentamaan. RFID on ollut merkittävässä roolissa kuljetuspakkausten osalta. Isoissa logistiikkakeskuksissa sen hyödyt ovat olleet luennan nopeus ja viivakoodien korvaaminen. RFID:n avulla voidaan lukea koko lavakuorma kerralla ja tällä on merkittävä hyöty kun luettavaa on runsaasti. QR-koodi eli ruutukoodi on kaksiulotteinen kuviokoodi. Viivakoodista se eroaa siinä, että se sisältää informaatiota sekä vaaka- että pystysuunnassa. QR-koodeja voidaan hyödyntää pakkauksissa ja käyttää reaaliaikaisesti muun muassa palautteen, tuoterekламаatioiden keräämiseen ja tuoteinformaation jakamiseen. (Kehittyvä elintarvike. 2003; Sutela, L. 2014. Pakkaussuunnittelu; Varsinais-Suomen ruokaketju. 2013.)



Kuva 23. RFID-tag, viivakoodi ja QR-koodi (Inspectall. 2014).

Muiden älypakkausten markkinoille tulo on ollut hidasta. Tähän vaikuttaa suurelta osin hinta ja sovellusten puute. Elintarvikkeilla älypakkauksen tarkoitus on valvoa pakatun elintarvikkeen käyttökelpoisuutta tai elintarvikkeen tilaa. Teknologia kehittää elintarvikepakkauksille paljon erilaisia indikaattoreita, joilla kerrotaan esimerkiksi ruuan pilaantumisesta. Indikaattoreiden väri reagoi esimerkiksi pakkauksen laadun, kaasutilan tai kunnon muutoksiin. OnVu on lämpöindikaattori, joka kertoo, onko tuote altistunut lämmölle. Tuotantoketjussa tämä ei välttämättä tuo materiaalitehokkuuden kannalta säästöä suoraan mutta säästää monilta jälkitoimenpiteiltä ja takaa laatua, sillä tuotteet, jotka ovat saaneet lämpöä, joutuvat roskeen. Indikaattoreilla on varsin ristiriitainen vaikutus elintarvikepakkauksilla koska vaikka niillä pyritään valvomaan elintarvikkeen käyttökelpoisuutta, ne itse asiassa lisäävät hävikkiä, eivätkä kaupat ole niistä kovin innostuneita. Kuluttajat eivät osta tuotetta, jossa ne näkevät pilaantumisprosessin jo alkaneen, vaikka tuote muuten olisi käyttökunnossa. (Sipiläinen-Malm, T. 2006; Sutela, L. 2014.)

Älypakkauksiin kuuluu myös aktiivinen pakkaus, jolla on enemmän materiaalitehokasta hyötyä. Aktiivisella pakkauksella pystytään vaikuttamaan elintarvikkeen keston, pidentämään sen säilyvyysaikaa, lisäämään elintarviketurvallisuutta ja parantamaan aistittavaa laatua esimerkiksi absorboimalla aineita elintarvikkeesta tai siitä ympäröivästä tilasta. Aktiivisella pakkauksella

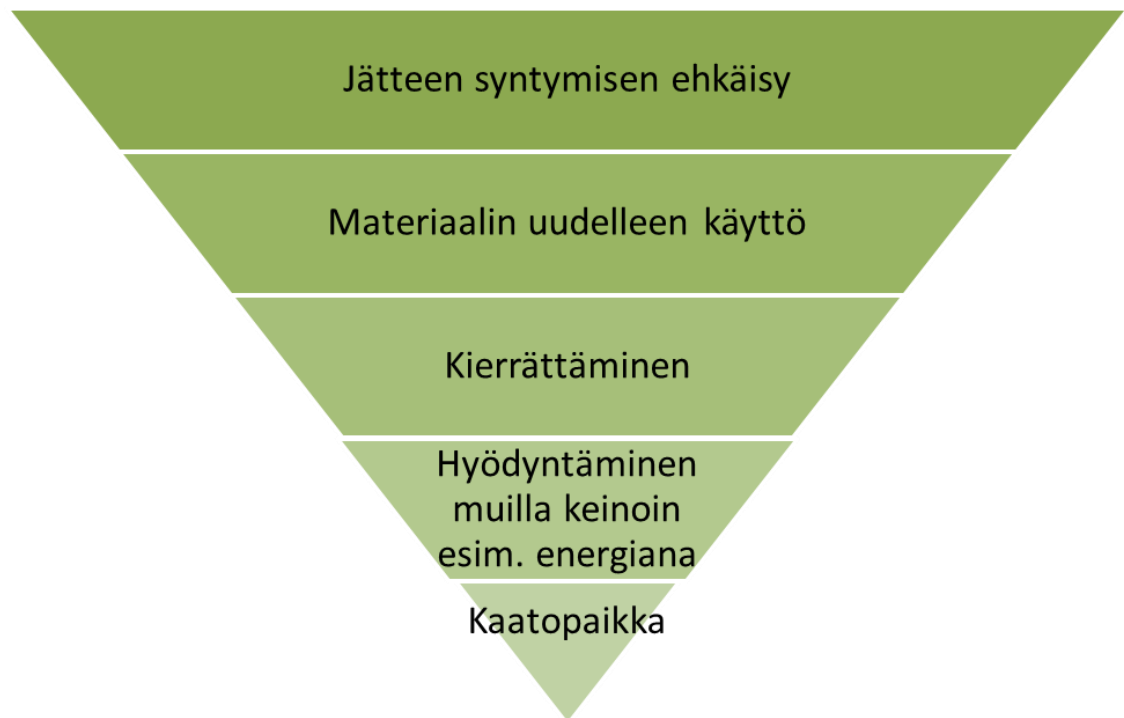
vaikutetaan elintarvikkeen fysiologisiin, fysikaalisiin ja kemiallisiin prosesseihin sekä mikrobiologiseen tilaan ja tuholaisiin. Tavallisimpia aktiivisia ratkaisuja ovat absorboivat konseptit esimerkiksi kosteusabsorbentit, hapenpoistajat, etyleeninpoistajat, hiilidioksidiabsorbentit ja hajunsyöjät. Lisäksi erittävät konseptit, esimerkiksi antimikrobiset materiaalit, hiilidioksidin erittäjät, etanolin erittäjät, säilöntäaineiden erittäjät ja aromiaineiden erittäjät. Tavallisia ratkaisuja ovat myös kuumenevat ja jäähtyvät pakkaukset sekä susceptorit. (Sipiläinen-Malm, T. 2006)

Tärkeää ja tarpeellista olisi myös seurata pakkauksiin kohdistuvia mekaanisia rasituksia esimerkiksi kuljetuksessa. Tällä hetkellä käytetään erilaisia kallistus- ja iskuantureita, jotka eivät kuitenkaan passiivisina kerro, milloin pakkausta on kohdeltu väärin. Tämä vaikeuttaa virheellisestä käsittelystä aiheutuneen tahon löytämistä. Markkinoilla olisikin hyvin paljon tarvetta aktiivisille isku- ja kallistusantureille, jotka tallentaisivat tiedon siitä, milloin esimerkiksi virheellinen käsittely on tapahtunut. Tiedon siirtyessä samaan tietokantaan sähköisen rahtikirjan kanssa, päästäisiin tehokkaasti ohjaamaan ja kehittämään tavaran käsittelyä. Sovellusten kehittyminen mahdollistaisi pakkauksen suunnittelun vieläkin keveämmäksi, josta syntyy sekä säästöä, että vähäisempää ympäristökuormitusta. Anturit ovat kalliita mutta niiden hinnasta huolimatta, kokonaisuus olisi nykyistä edullisempi. (Sutela, L. 2014.)

3.1.7 Lainsäädäntö ja kierrätys

Yhä tiukentuva lainsäädäntö ja luonnonvarojen hintojen nousu ovat yksi syy ja kannuste yritysten materiaalitehokkuuteen. Lainsäädännöllä pystytään ohjaamaan ympäristöä säästäviin keinoihin. Euroopassa EU ohjaa jätteiden syntymistä direktiivien avulla. Esimerkiksi jo nyt voimassa olevalla EU:n pakkaus- ja pakkausjätedirektiivillä edellytetään, että käytetyistä muovipakkauksista tulee kierrättää materiaalihyötykäyttöön vähintään 22,5 %. Suomessa tämä luku oli vuonna 2012 25 %. Liitteessä 1 on kuvattu yleisempien pakkausmuovien kierrätysmerkit. (Järvinen, P. 2008, s 167; Muovipoli Oy. 2014, s. 16; Pakkausalan ympäristörekisteri PYR OY. 2014.)

EU:n jätteitä koskevan direktiivin (2008/98/EY) mukaan, tulisi jätehierarkiassa ensisijaisesti ehkäistä jätteen syntyä, seuraavana tulee materiaalin uudelleen käyttö, materiaalin kierrättäminen, materiaalin hyödyntäminen muilla keinoin esimerkiksi energiana ja lopuksi kaatopaikalle joutuminen, joka on pidettävä ehdottoman pienenä. Hierarkiaa kuvaa Kuva 24, jossa kolmion kärki pienenee vähiten haluttua toimintoa kohden. (Euroopan Unioni. 2008.)



Kuva 24. *Eu:n jätehierarkian periaate (Euroopan Unioni. 2008).*

Suomessa kertakäyttöisten PET-pullojen verotus muuttui vuoden 2008 alussa. Pullot muuttuivat pantillisiksi ja tulivat kierrätyksen piiriin. Kierrätyksessä värittömästä muovista tehdään pääosin uusia muovipulloja kun taas värillisestä esimerkiksi Fleece-puseroita, reppuja, laukkuja ja pakkausmateriaalia. Kierrätetyistä PET-pulloista ei mene mitään kaatopaikalle. Suomalainen palauttaa pantillisia juomapakkauksia eniten koko maailmassa, noin 12 kappaletta sekunnissa. Pantittomat muovipullot voi kierrättää sekajätteenä, energiajakeena tai palauttamalla ne muovinkeräyspisteeseen. (Järvinen, P. 2008, s 168; Palpa, 2010.)

EPS-pakkauksia voidaan kierrättää lähes 100 %:sti. Puhdasta EPS-jätettä, kuten pakkauksia ja ylijäämälevyjä rouhitetaan ja rouhetta käytetään uusien EPS-tuotteiden valmistuksessa. Kierrätys on kuitenkin vaikea järjestää, eikä sille ole järjestetty erilliskeräystä. Isommat erät otetaan vastaan jäteasemilla ja yritysten energiajätekeräykseen kelpaavat pienet määrät. (Pirkanmaan jätehuolto. 2014; Styroplast. 2014.)

Muovikassiksi kannattaa valita kierrätysmateriaaleista valmistettu kassi, koska sen ympäristökuormitus on tavallista kassia pienempi. Kassia kannattaa käyttää monta kertaa, jolloin kassin ympäristökuormitus vähenee edelleen. Lopuksi sen voi käyttää jättekassina, jona se on ylivoimainen verrattaessa muihin vaihtoehtoihin. Muovikassi voidaan kierrättää ja materiaali hyötykäyttää jos ne tuodaan keräyspisteisiin. Suomessa muovikasseja kierrätetään monien kauppojen yhteydessä, lähellä pullonpalautusautomaatteja. Kierrätyksestä vastaa Suomen muoviteollisuus ja ohjaavana ja neuvoa-antavana organisaationa toimii Suomen Uusiomuovi Oy.

Kierrätykseen käyvät kaikki puhtaat muovikassit mutta elintarvikkeiden pakkaamiseen käytetyt muovipussit esimerkiksi leipäpussit eivät kierrätykseen käy. Muovipussit voidaan lajitella energijakeen mukaan, jolloin niitä hyödynnetään kierrätyspolttoaineena. Työssä on aikaisemmin todettu, että muovikassien ja pussien käyttöä rajoitetaan monissa eri maissa. Täyskieltoon ja rajoituksiin on ryhdytty esimerkiksi Kiinassa. Rajoituksilla halutaan torjua erittäin kevyiden muovipussien luomaa roskaamisongelmaa koska ohuita muovikasseja käytetään harvemmin uudelleen ja ne jäävät usein jätevirtojen ulkopuolelle, kerääntyvät ympäristöön ja aiheuttavat erityisesti merien roskaantumista. EU on ryhtynyt myös toimiin rajoittaakseen kevyitä muovipusseja. Jäsenvaltiot voivat valita parhaiksi katsomansa toimenpiteet, esimerkiksi maksut, kansalliset vähennystavoitteet tai tietyissä olosuhteissa kiellon. (A-kassi. 2014; Euroopan komissio a. 2013; Muovikassikiertoon.fi. 2014.)

Elintarvikepakkauksilla kierrättäminen on hankalaa. Muovia kierrätetään materiaalina vain silloin, kun se on puhdasta ja siitä syntyy suuri määrä samaa laatua. Elintarvikepakkaukset ovat usein hybridipakkauksia eli monikerroskalvoista valmistettuja. Ongelmaksi muodostuu muovien erottelu toisistaan, joka voi olla monimutkaista, kustannuksiltaan liian kallista tai mahdotonta. Lisäksi kotitalouksissa elintarvikepakkauksilla syntyvä muovi on usein likaista ja sekalaatuista eikä sovi kierrätettäväksi. Elintarvikemuovit voidaan kuitenkin usein hyödyntää energijätteenä. Teollisuus- ja voimalaitokset hyötyvät energijätteestä, sillä jätteestä voidaan valmistaa kierrätyspolttoainetta, jota voidaan käyttää oheispolttoaineena. Tämä vähentää uusiutumattomien energiaraaka-aineiden käyttöä. Energiajätettä kerätään erityisesti julkishallinnon kiinteistöistä, esimerkiksi toimistoista, kouluista ja päiväkodeista. Asuinkiinteistöt voivat myös liittyä tähän keräykseen ja lisäksi varsinkin suurten kauppakeskusten kierrätyspisteissä on energijätteen keräysastiat. Taulukossa 2 on kuvattu tässä työssä käytettyjen materiaalien ympäristöominaisuudet elinkaarensa lopussa. (Muovipoli Oy. 2014, s. 32; Symbioosi. 2014.)

Taulukko 2. Ympäristöominaisuudet: elinkaaren lopppu (Mukailtu Ashby, M.F. 2013, ss. 496-507)

Muovi	Sitoutunut energia, kierrätys MJ/kg	Hiilijalanjälki, kierrätys kg/kg	Kierrätysosuus, nykyisillä tuotteilla %	Lämpöarvo MJ/kg	CO ₂ - päästöt kg/kg
Polypropeeni (PP)	45-55	2,0-22	5-6	44-46	3,1-3,2
Polyeteeni (PE)	45-55	2,7-3,0	8-9,5	44-46	3,1-3,2
Polyeteeni-terafalaatti (PET)	35-43	2,1-2,6	20-22	23-24	2,3-2,4
Polystyreeni (PS)	43-52	2,6-3,1	5-6	40-42	3,3-3,5

3.2 Mittaaminen ja arviointi

Materiaalitehokkuuden mittaamiseen ja arviointiin käytetään hyvin paljon erilaisia ja sovellettavissa olevia työkaluja. Suoraan materiaalitehokkuuden mittaamiseen on tällä hetkellä rajoitetusti työkaluja saatavilla. Haasteina ovat tilastoaineistojen saatavuus ja mittareiden tarkkuus. Lisäksi materiaalin kulutusta voidaan arvioida ja mitata eri tasoilta esimerkiksi tuotteista, palveluista, kaupungeista, kansantaloudesta, toimipaikoista tai Euroopan sisämarkkinoilta. (Työ- ja elinkeinoministeriö & Ympäristöministeriö. 2013, ss. 14-16.)

Arvioitaessa materiaalitehokkuutta yrityksen kannalta on se ensisijaisesti talouskysymys. Kilpailukykyä voidaan parantaa ja tuotantokustannuksia alentaa vähemmällä raaka-aine panoksella ja pienemmällä jätemäärällä. Yritykset tarvitsevat mittareita siihen kuinka materiaalitehokkuustoimet vaikuttavat tuotannon taloudellisuuteen. Valittuihin työkaluihin vaikuttavat lisäksi tuotteet ja tuotantomenetelmät, yrityksen strategiset tavoitteet sekä lainsäädäntö. Usein ympäristöasiat ja luonnonvarojen käyttö nähdään yrityksissä myös imago ja business näkökulmasta. (Motiva d. 2012, s. 9; Muovipoli Oy. 2014, s 26.)

Tähän työhön on tuotannon materiaalitehokkuutta lähemmin tarkasteltaviksi työkaluiksi valittu ENVIMAT-malli, elinkaariarviointi, materiaalivirtojen kustannusanalyysi ja materiaalikatselmus. Toiminnan materiaalitehokkuutta, ja laatua voidaan parantaa myös muilla työkaluilla. Työkaluja ovat esimerkiksi tuotannon simulointi ja mallinnus, arvovirtakuvaus, Six Sigma/LEAN Six Sigma, WCO World Class Operations tai Supply Chain Optimization SCO. (Motiva d. 2012, s. 9; Muovipoli Oy. 2014, s 26.)

3.2.1 ENVIMAT-malli

Menetelmällä voidaan arvioida materiaalivirtojen, taloudellisten ja ympäristövaikutusten välisiä suhteita. Mallin perustana ovat taloudelliset panos-tuotostaulukot yhdistettynä elinkaariin ympäristövaikutuksiin. Suomelle tehdyssä ENVIMAT-mallissa ovat mukana myös työllisyys- ja arvonlisäysvaikutukset yhdessä tuotanto- ja kulutuslähtöisten ympäristövaikutusten analysoinnissa. (Motiva d. 2012, s. 10.)

3.2.2 Elinkaariarviointi (LCA)

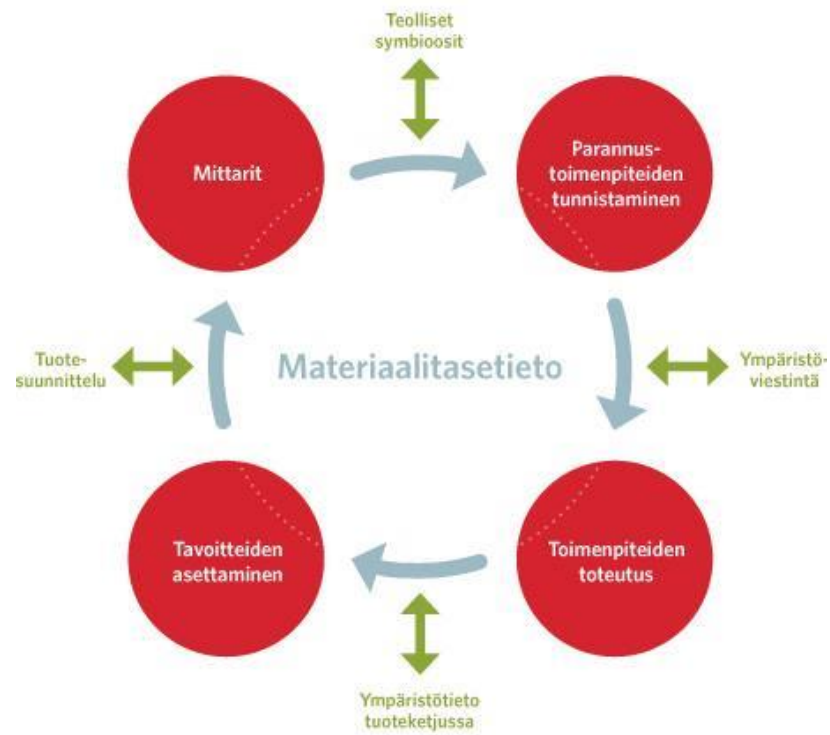
LCA (Life cycle Assessment) eli elinkaarimenetelmän avulla pyritään selvittämään systemaattisesti tuotteen koko elinkaaren aikaiset ympäristövaikutukset. Toteuttamisessa voidaan käyttää apuna ISO 14040-sarjan standardeja sekä EU:n julkaisemaa kirjaa elinkaariarvioinnista. (Motiva d. 2012, s. 10.)

3.2.3 Materiaalivirtojen kustannusanalyysi (MFCA)

MFCA (Material Flow Cost Accounting) eli materiaalivirtojen kustannusanalyysi on johdon työkalu. Sen avulla organisaatiot kykenevät helpommin ymmärtämään oman energian ja materiaalien käytön mahdollisia vaikutuksia oman organisaationsa talouteen ja ympäristöönsä. Näitä käytäntöjä hyväksikäyttäen pyritään löytämään keinoja kustannustehokkuuden parantamiseen ja ympäristövaikutusten pienentämiseen. Erityisesti materiaalivirtojen kustannusanalyysi mahdollistaa tuotteisiin ja materiaalihävikkiin liittyvien kustannusten vertailun. (Motiva d. 2012, ss. 10-11.)

3.2.4 Materiaalikatselmus (MATKAT)

MATKAT eli materiaalikatselmus on Motivan kehittämä menetelmä, jossa konsultin avulla yritys selvittää materiaalien käytön tehostamismahdollisuuksiaan. Menetelmä on käytännön työkalu yrityksen materiaalivirtojen hallintaan ja toiminnan tehostamiseen. Katselmuksen avulla voidaan saavuttaa merkittäviä kustannussäästöjä kun tunnistetaan tuotantoprosessista vaiheet, joissa voidaan vähentää raaka-aineen käyttöä, syntyvän jätteen määrää ja ympäristöhaittoja. Katselmuksen avulla tuotetaan konkreettisia säästötoimenpide-ehdotuksia. Toimenpiteiden hyödyt, säästömahdollisuudet ja mahdolliset investointitarpeet arvioidaan ja lopuksi tehdään ehdotukset jatkotoimenpiteistä. Materiaalitehokkuuteen liittyviä parannusehdotuksia on näin helppo lähteä toteuttamaan systemaattisesti. Erityispiirteenä katselmuksessa on sen tukeutuminen yrityksen omaan tietotaitoon sekä tuotannon työntekijöiden piileviin ja kokemuseräisen tiedon hyödyntämiseen. Kuvassa 25 on esitelty materiaalikatselmusta kuvaava prosessi. Saatua tietoa voidaan käyttää hyväksi esimerkiksi uusien taitteiden tai mittarien laadinnassa sekä eri yritysten välisten resurssivirtojen hyödyntämisessä. (Motiva c. 2014. Motiva d. 2012, s. 11.)



Kuva 25. Materiaalikatselmuksen prosessi (Motiva c. 2014).

4 MATERIAALITEHOKKUUDEN PARANTAMINEN

Kaikissa yrityksissä löytyy runsaasti materiaalinsäästöpotentiaalia. Tehostamistoimet voivat liittyä raaka-aineiden käyttöön, tuotantotapojen parantamiseen, ja innovaatioiden kehittämiseen koko tuoteketjussa. Materiaalitehokkuutta voidaan parantaa huomattavasti myös muovipakkausalan yrityksissä, vaikka kaikissa alan yrityksissä ei juuri synny tehtaan ulkopuolelle vietävää jätettä koska sivuvirta on mahdollista käyttää uudelleen prosessissa. Muovipakkauksilla tehostamispotentiaalia voi olla esimerkiksi yrityksen sisäisissä kierrätysvirroissa, laatuvirheiden havainnointi aikaisemmin tai liian hyvän laadun tekemisessä. Kuvassa 26 on esitelty materiaalitehokkuuden parantamiseen löytyviä keinoja toiminnan jokaiselta tasolta. (Motiva c. 2014).



Kuva 26. Materiaalitehokkuuden parantamiseen löytyviä keinoja (Motiva e. 2008).

Erittäin tärkeää materiaalitehokkuudessa on kartoittaa käytetyt materiaalit. Yksi tehokkaimmista keinoista tehostaa toimintaa, on vähentää tuotannon raaka-aineiden käyttöä. Esimerkiksi käytettävien materiaalien rajaaminen vain muutamaan lajiin, jolloin tietotaito kyseisten materiaalien osalta on parempi kuin kymmenien. Tehostamisella voi olla hyviä vaikutuksia yrityksen maineelle, jolloin tietotaito kyseisten muutaman materiaalin valmistajana kasvaa. Tämä voi osaltaan tuoda uusia asiakkaita ja johtaa uusiin tuotesovelluksiin. (Muovipoli Oy. 2014, s. 15-16.)

Muovipakkauksilla on tärkeää myös oikean raaka-aineen valinta. Materiaalin tulee täyttää sille vaaditut ominaisuudet mutta liian hyvä materiaalin valinta aiheuttaa turhia kustannuksia. Laadusta ei sovi kuitenkaan tinkiä ja lopputuotteen tulee pakkauksella olla kestävä. Raaka-ainetta valittaessa on lisäksi mietittävä, miten haluttu raaka-aine käyttäytyy prosessissa. Raaka-ainetta ei ole hyvä valita halvimman kilohinnan perusteella koska se ei välttämättä ole kustannustehokkain. Raaka-aine saattaa johtaa kalliisiin jälkikäsittelymenetelmiin tai se on hankala toteuttaa jo olemassa olevassa prosessissa. Muovit myydään lähes aina kilohinnalla mutta muovin työstäjä myy lähes aina tilavuutta. Tämä on hyvä huomioida koska työstäjä tuottaa kilogrammasta kevyttä muovia enemmän esimerkiksi neliöitä kuin painavasta muovista. Usein kilohinnaltaan kalliimpi muovi on tilavuushinnaltaan halvempi. On hyvä huomata, että jos valitaan väärä materiaali vaikuttaa se paitsi alkuperäiseen raaka-aineen hintaan, vaikuttaa se myös nostavasti kustannuksiin tuotteen elinkaaren kaikissa vaiheissa. (Muovifakta. 2012; Muovipoli Oy. 2014, s.15; Tangram Technology. 2014.)

Muovipakkausten prosessoinnissa tulee ottaa huomioon koko tuotantoprosessi. Esimerkiksi miten haluttu raaka-aine käyttäytyy prosessissa ja mitkä ovat jälkikäsittelymenetelmät. Materiaalitehokkuuteen vaikuttaa oleellisesti hävikki. Teollisuudessa muovijäte merkitsee suurta kustannushukkaa jos jätteeksi joutuu kallis raaka-aine. Lisäksi jo prosessoidun muovin mukana menetetään prosessiin käytetty energia ja työpanos. Hävikin syntyä ei pystytä kuitenkaan kokonaan estämään ja prosessoinnissa sitä syntyy keskimäärin noin 5 %. Muovipakkausten tuotannossa raaka-ainekustannusten osuus on tyypillisesti noin puolet lopputuotteen hinnasta. Tehokkuutta parantaa kun raaka-aineesta pyritään valmistamaan mahdollisimman paljon muovituotteita ja hävikki sekä jätteen muodostuminen minimoimaan. Tyypillisesti hävikkiä aiheuttavat valutapit, virheelliset tuotteet, värin vaihto tuotannossa, linjojen ala- ja ylösajot, virheellinen painatus, raaka-aineiden sekoittuminen keskenään tai sen likaantuminen. Prosessoinnin jälkeen myös virheellinen varastointi aiheuttaa epäkuranttia tavaraa. Tehokkaimmin prosessoinnissa hävikki pystytään minimoimaan jos hylätty tuote tai raaka-aine voidaan syöttää tuotantoprosessiin takaisin ilman välivarastointia. Muita vaihtoehtoja on mietittävä jos uudelleen syöttö ei tule kyseeseen, esimerkiksi kierrättäminen. Kierrättämisessä muovi prosessoidaan uudelleen puhdistamalla ja muokkaamalla se uusiomateriaaliksi. Viimeinen jätteen sijoituskohde on muovin hyödyntäminen energiana. (Järvinen, P. 2008, ss. 160-164; Muovipoli Oy. 2014, s. 15.)

Materiaalitehokkuutta voitaisiin parantaa lisäämällä muovin kierrätysastetta jos materiaalin uusiokäyttö ei ole mahdollista. Tällä hetkellä kierrätysaste, etenkin muovipakkauksilla Suomessa ei ole kovin korkea verrattaessa muihin maihin (Liite 2). Muovi on useimmiten kierrätettävää materiaalia mutta jo aikaisemmin mainitut kierrätyksen haasteet vaikeuttavat sitä. Kierrätystä lisäämällä voitaisiin vähentää kasvihuonepäästöjä sekä raaka-aineiden ja fossiilisten polttoaineiden tuontia, lisätä kilpailukykyä ja luoda uusia työpaikkoja. (Euroopan komissio b. 2013, s. 3.)

Tuotteiden suunnitteluvaiheessa tulisi jo ottaa kierrätettävyyteen huomiota. Muovipakkausten kierrätettävyyttä voidaan helpottaa esimerkiksi vähentämällä muovissa käytettäviä vaarallisia aineita ja tiedottamalla asianmukaista tietoa muovien tuottajilta kierrätysyrityksille. Esimerkiksi muovin kemiallista koostumusta ja lisäaineita koskevat merkinnät ja tiedot voitaisiin toimittaa muovijalostajille. Haaste mutta samalla suuri mahdollisuus on tuotteiden suunnittelemisen siten, että materiaalit ja komponentit voitaisiin elinkaaren lopussa helposti hyödyntää tai käyttää uudelleen. (Euroopan komissio b. 2013, s. 14; Teknologiateollisuus b. 2014, s. 24.)

5 ENERGIA TEHOKKUUS

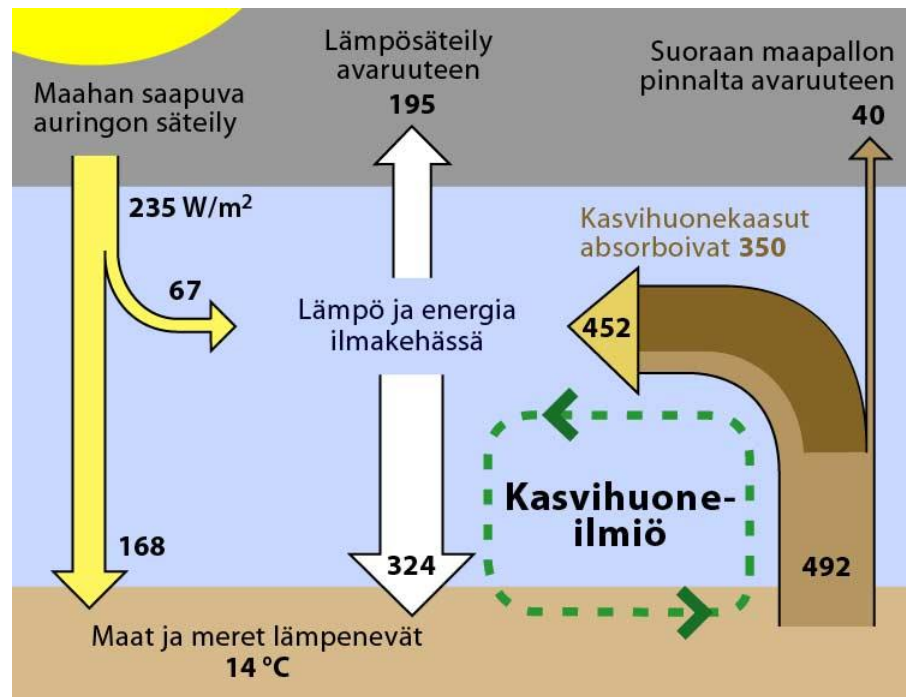
Energiatehokkuudella tarkoitetaan yksinkertaisimmillaan saman tuotteen tai palvelun tarjoamista vähemmällä energialla. Lisäksi sen avulla pyritään hallitsemaan ja hillitsemään energiakulutuksen kasvua ja tavoitteena on pyrkiä edistämään tehokasta energian käyttöä. Energiatehokkuudesta on tullut keskeinen teema energiapolitiikassa. Syynä tähän ovat ilmastotavoitteet, ympäristösyöt esimerkiksi ympäristön- ja ilmansuojelu, fossiilisten polttoaineiden hinnannousu, maailmanlaajuisesta kasvusta johtuva osaamisen ja teknologian kustannusten kasvu, energian saatavuuden turvaaminen ja tuontien energian tarpeen vähentäminen. (Energiateollisuus. 2008; International energy agency a. 2014.)

Energiatehokkuus on tärkeää myös kilpailukyvyyn, yhteiskunnan tehokkuuden, energian toimitusvarmuuden, energian käytön ja tuotannon ympäristövaikutusten vähentämisen kannalta. Erittäin suuri kysymys ja haaste ovat ilmastokysymysten ratkaiseminen energia-alalla kun tavoitteena on kustannustehokas kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen. Vuoteen 2020 mennessä, on EU:ssa tavoitteena energiatehokkuuden parantaminen 20 prosentilla. Energiatehokkuus ja uusiutuvan energian käyttö ovat tärkeimpiä keinoja päästöjen vähentämiseksi. (Energiateollisuus. 2008; Työ- ja elinkeinoministeriö. 2014.)

Energiatehokkuus liittyy usein suoraan materiaalitehokkuuteen. Energiatehokkuuden määritelmät ovat hyvin selkeitä verrattaessa materiaalitehokkuuteen mutta monimutkaiset teollisuuden prosessit, energiavirrat, erilaiset tuotteet sekä vaihtelevat tuotantoasteet tekevät energiatehokkuuden mittaamisesta ja määrittämisestä vaikeampia käytännössä. (Giacone, E. & Mancò, S. 2012.)

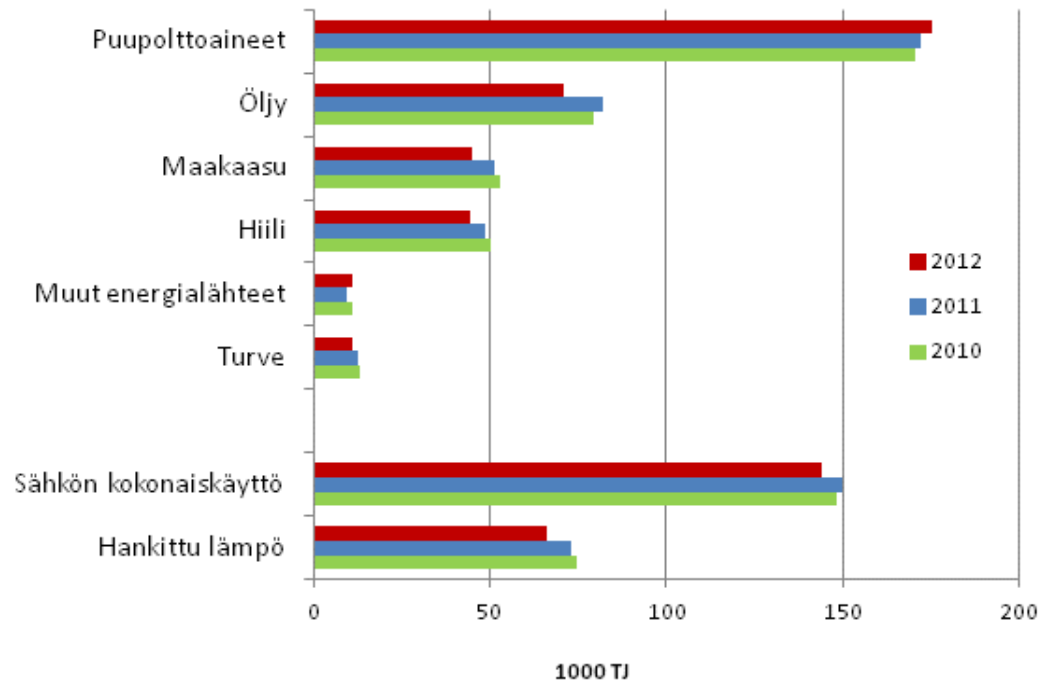
5.1 Ilmastonmuutos ja energiantuotanto

Yksi aikamme vakavimmista ympäristöuhista on ilmastonmuutos, joka johtuu hiilidioksidin (CO₂) ja muiden kasvihuonekaasujen kasvusta ilmakehässä. Ilmastonmuutos johtuu voimistuvasta kasvihuoneilmiöstä, jossa kasvihuonekaasut päästävät auringosta tulevan säteilyn lävitse mutta eivät kaikkea lämpösäteilyä maapallolta pois. Tämä johtaa ilmaston lämpenemiseen. Ilmiö itsessään on kuitenkin tärkeä ja sen ansiosta maapallon lämpötila on noin +15 °C kun ilman se olisi -18 °C. Kasvihuoneilmiö ei ole ympäristöongelma, vaan sen toiminnassa aiheutuneet muutokset, jotka ihminen on saanut aikaan. Ilmiötä kuvaa Kuva 27. (CO₂-raportti. 2014.)



Kuva 27. Kasvihuoneilmiö (CO_2 -raportti. 2014).

Lukuisat olemassa olevat energianlähteet voidaan luokitella eri lailla. Primäärienergialla tarkoitetaan jalostamatonta energiaa esimerkiksi vesivoimaa, uraania, kivihiiltä ja tuulivoimaa. Sekundäärienergiaa eli jalostettua primäärienergiaa ovat esimerkiksi sähkö ja bensiini. Suomessa sähköä tuotetaan eniten primäärienergiasta, jota tuotetaan eniten vesivoimalla ja ydinvoimalla. Sekundäärienergiasta käyttää eniten eli noin puolet teollisuus. Energiankäyttö teollisuudessa oli vuonna 2012 Suomessa yhteensä 540 petajoulea. Suurimman osan tästä energiasta käyttää metsäteollisuus noin 55 %. Kuvassa 28 on esitelty Suomen energian käyttö teollisuudessa vuosina 2010, 2011 ja 2012. Luvut sisältävät teollisuuden käyttämien polttoaineiden kokonaismäärät sekä sähkön kokonaiskäytön ja ulkopuolelta hankittu lämmön määrän. (Luovasti luonnonvaroista. 2012; Tilastokeskus. 2014.)



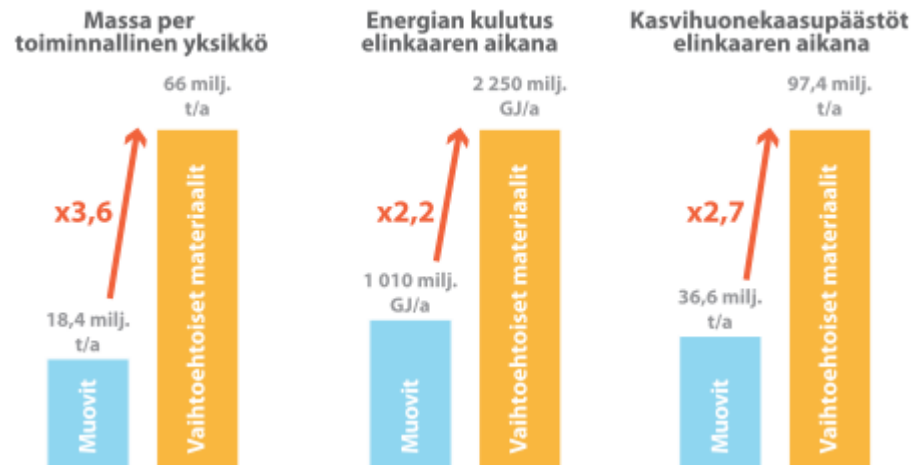
Kuva 28. Teollisuuden energian käyttö Suomessa (Tilastokeskus, 2014).

Fossiilisten polttoaineiden käyttö on suurin CO₂-päästöjen lähde. Öljy, kivihiili, ja maakaasu ovat sitoneet itseensä hiiltä miljoonien vuosien kuluessa. Viimeisen parin sadan vuoden kuluessa tätä hiiltä on vapautettu ilmakehään kiihtyvällä tahdilla. Ihmiskunta kuitenkin tarvitsee sähköä, lämpöä, polttoainetta ja tuotteita joiden tuottamiseen tarvitaan energiaa. Hyvin suuri osa tästä energiasta tuotetaan fossiilisia polttoaineita polttamalla. Suomessa teollisuuden prosesseista vapautui tilastokeskuksen mukaan kasvihuonekaasuja vuonna 2012 61,4 miljoonaa hiilidioksiditonnia. Luku on noin 6 miljoonaa tonnia vähemmän kuin edellisvuonna ja päästöjen väheneminen on enimmäkseen päästökaupan seurausta. IEA:n mukaan, teollisista CO₂-päästöistä 56 % perustuu viiden materiaalin, teräksen, sementin, muovin, paperin ja alumiinin tuotantoon sekä prosessointiin. Maailmanlaajuisista CO₂-päästöistä 36 % on peräisin teollisuudesta, joka tarkoittaa, että 20 % kaikista energia- ja prosessiperäisistä päästöistä liittyy materiaaleihin. (CO₂-raportti, 2014; International energy agency b. 2008; Tilastokeskus, 2014.)

5.2 Pakkausten energiatehokkuuteen vaikuttavat asiat

Materiaalien prosessoiminen vaatii aina työtä ja energiaa. Muoveja kuitenkin prosessoidaan verrattaessa muihin materiaaleihin huomattavasti matalammissa lämpötiloissa, jolloin prosessi vie vähemmän energiaa. Energiatehokkuustyön perustana on, että tunnetaan energiankulutuksen jakautuminen ja vaihtelu tehdasympäristössä. On myös tiedettävä ja tiedostettava, mitkä tekijät vaikuttavat energiankulutukseen ja tehokkuuteen. Tekijöitä on lukuisia mutta lähemmin käsitellään, muovien prosessointimenetelmät, energian- ja materiaalin hinta sekä lainsäädäntö. Energiatehokkuutta on hyvä kuitenkin tarkastella vielä laajemmin, eri pakkausmateriaalien elinkaariajattelun pohjalta. Energiatehokkuus tulee muovipakkauksilla hyvin esille niiden käytössä. (Motiva b. 2014, s. 2; Muoviteollisuus Ry. 2014.)

Vertailtaessa muoveja muihin pakkausmateriaaleihin säästävät muovit enemmän energiaa ja vettä, sekä niiden kasvihuonepäästöt ja jätemäärät ovat pienempiä. Muovipakkaukset ovat usein energiatehokkaampia valmistaa kuin muut materiaalit. Kevyttä muovia kuluu pakattaessa paljon vähemmän kuin vaihtoehtoisilla tuotteilla. Lisäksi, kuten työssä on jo aikasemmin todettu, että kasvihuonekaasupäästöt kolminkertaistuisivat, elintarvikeketjun energiantarve kaksinkertaistuisi, ja ruokapakkausten paino kasvaisi 360 % nykyisestä, jos ruokaa ei pakattaisi muoviin. Vuonna 2011 YK:n elintarvike- ja maatalousjärjestö FAO painotti kehitysmaiden elintarvikehuollon kärsivän pahasti puutteellisesta pakkaamisesta. Kehitysmaissa jopa 50 % elintarvikkeista pilaantuu ennen kulutukseen päätymistä. Euroopassa tämä luku on 3 %. Tutkimuksissa on todettu, että pakkaamisella aikaansaatua säästö on vähintään 13 kertaa se, mikä kuluu itse pakkauksen tekoon. Kuvassa 29 on esitelty kuvaajat, jotka esittävät muovien korvaamista muilla materiaaleilla ja sitä, mitä se tarkoittaisi pakkausten keveyden, energian kulutuksen ja kasvihuonepäästöjen osalta koko elinkaaren aikana. (Plastic packaging. 2014; PlasticsEurope a, 2013.)



Kuva 29. Muovien korvaaminen muilla materiaaleilla, vaikuttaisi pakkausten keveyteen, energian kulutukseen ja kasvihuonekaasupäästöihin. (Mukailtu PlasticsEurope a. 2013).

5.2.1 Materiaalin ja energian hinnan kehitys

Kaikkea muoviteollisuutta on haitannut viime vuosina muovien nopea hinnanvaihtelu kansainvälisillä markkinoilla. Teollisuuden on täytynyt selvittää hinnankorotuksista, joita ovat aiheuttaneet öljyn korkea hinta sekä väliaikainen pula materiaaleista. Esimerkiksi hinnat ovat nousseet keskimäärin 50 % polypropyleenillä ja 100 % polystyreenillä. Kuvassa 30 on esitelty valtamuovien hintaindeksin kehitystä verrattaessa raakaöljyn hintaan. (Järvinen, P. 2008, s. 17; Van Heur, R. & Verheije, M. 2009.)



Kuva 30. Valtamuovien hintaindeksi ja raakaöljyn hinta (Mukailtu Järvinen, P. 2008, s. 17).

Hintakehitys on aiheuttanut muovituotteiden hinnan nousua muovipakkauksilla ja niiden valmistamiseen tarvittavilta laitteilta ja koneilta. Samalla on ollut vaikeuksia siirtää kasvavia tuotantokustannuksia edelleen seuraavalle asiakasportaalille. Lisäksi EuPC (European Plastics Converters) on varoittanut muovia prosessoivia yrityksiä raaka-aineiden toimittajien epävarmuudesta. Muovia prosessoivat yritykset, jotka käyttävät raaka-aineiden toimittajia ja jotka ovat eniten investoineet Lähi-itään sekä Aasiaan, joutuvat kohtaamaan ongelmia raaka-aine pulasta. Alati muuttuva kustannuskehitys lisää tarvetta parantaa yritysten kannattavuutta muovipakkauksilla. (Järvinen, P. 2008, s. 17; Van Heur, R. & Verheije, M. 2009.)

Energian hinta EU:ssa riippuu erilaisten tarjonnan ja kysynnän edellytyksistä. Hintaan liittyvät myös erilaiset geopoliittiset tilanteet, sähköverkon ja ympäristönsuojelun kustannukset sekä hankalat sääolosuhteet tai valmisteveron eri tasot ja verotus. Taulukkoon 3 on kerätty teollisuuden sähkön ja maakaasun keskihinnat viimeiseltä kolmelta vuodelta, toiselta vuosineljännekseltä. Vertailun vuoksi taulukkoon on otettu myös Saksan ja koko EU:n keskihinnat Suomen lisäksi. (Eurostat. 2014.)

Taulukko 3. Teollisuuden sähkön ja maakaasun hinnat puolivuositain vuosilta 2011-2013 (Mukailtu Eurostat. 2014).

	Sähkön hinta (€) / kWh			Maakaasun hinta (€) / kWh		
	2011	2012	2013	2011	2012	2013
EU	0,112	0,116	0,119	0,036	0,038	0,040
Euro alue	0,118	0,122	0,126	0,037	0,039	0,041
Saksa	0,124	0,130	0,144	0,041	0,038	0,048
Suomi	0,075	0,074	0,075	0,046	0,048	0,047

5.2.2 Muovipakkausten prosessointi

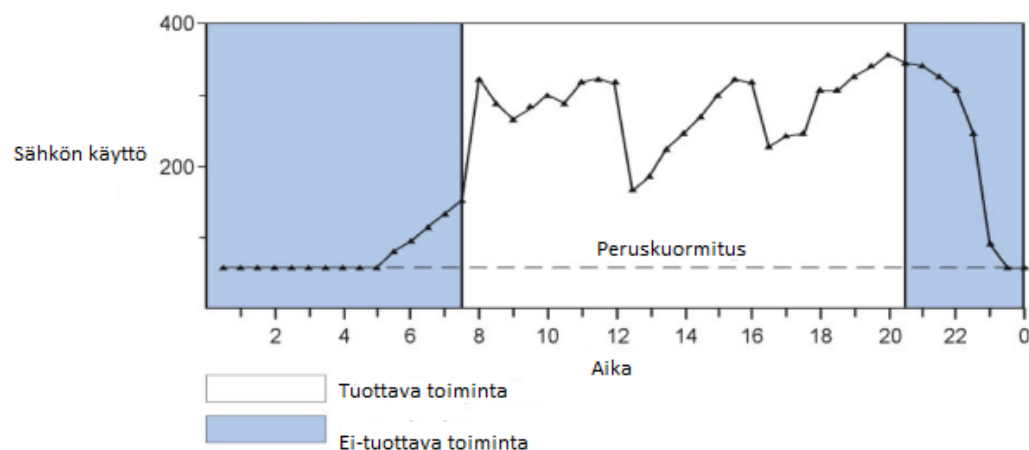
Muovien prosessoimiseen käytetyn energian kustannukset ovat merkittävä osa tuotantokustannuksista. Suurimmat energian kuluttajat muovin prosessoinnissa ovat moottorit, lämmitys- ja jäähdytysyksiköt, kompressorit, rakennuksen lämmityskustannukset sekä valaistus, joihin keskitytään Kappaleessa 7. Lisäksi energiatehokkuuteen vaikuttavat esimerkiksi tuotannon laadun ja määrän vaihtelut, prosessien ajotavat, käytettävät raaka-aineet, tuotantotehot ja katkokset, lopputuotteiden ominaisuudet sekä vaihtelevat sääolosuhteet, etenkin talvella. (Motiva b. 2014, s. 2.)

Energiatehokkuutta ja sähkön käyttöä tutkittaessa tärkeää on havainnoida kuinka, nihin ja milloin energiaa käytetään. Monet yritykset eivät tiedosta milloin energiaa käytetään ja tuottavan ja valmiustilassa olevan energian eroa. Esimerkiksi muoveja prosessoitaessa korkeissa lämpötiloissa, liittyy siihen aina esilämmitys. Esilämmitystä tarvitaan myös suuremmille muoteille ja systeemeille, joiden avulla varmistetaan että avainkomponentit ovat vaaditussa lämpötilassa ennen muovin prosessoinnin aloitusta.

Esilämmityksen aikana ei tuotantoa vielä synny, vaikka energiaa kuluu. (Eurecipe. 2006, s. 3; Motiva b. 2014, s. 2.)

Suurin osa muovin prosessoinnista vaatii tietyn valikoiman eri laitteita, joiden pitää olla valmiina jo ennen varsinaisen prosessoinnin aloitusta. Tämä tarkoittaa, että energiaa kulutetaan jo silloin kun mitään ei vielä valmistu. Erittäin yleistä on laittaa kaikki laitteet jo valmiiksi päälle, jotta ollaan valmiina tuotannon aloittamiseen. Tuotannon loputtua voi myös usein kestää kauan ennen kuin koneet suljetaan. Nämä menettelyt tarkoittavat sitä, että energiaa kuluu, vaikka tuotantoa ei valmistu. (Eurecipe. 2006, s. 4)

Energian käyttöä olisi tärkeä havainnoida tietyin väliajoin esimerkiksi päivän tai viikon aikana. Lisäksi yrityksellä tulisi olla selvitettyä niin sanottu peruskuormitus sähkön käytölle, joka kuvaa sitä energianmäärää, jota käytetään kun tuotantoa ei ole. Sähkön käytössä peruskuormitus kuluu esimerkiksi lämmitykseen, pumpuille, vahingossa päälle jätetyille valaistukselle sekä laitteille jotka ovat valmiustilassa. Kuvassa 31 on esitetty kuvaaja, joka esittää erään prosessin puolen tunnin aikana kuluttamaa sähkömäärää. (Eurecipe. 2006, ss. 3-4)



Kuva 31. Puolen tunnin sähkönkäytön kartoitus prosessissa (Mukailtu Eurecipe. 2006, ss. 3-4)

5.2.3 Lainsäädäntö

EU:ssa jokainen jäsenvaltio huolehtii omasta energiapolitiikastaan mutta viimeisinä vuosina on EU:n rooli kasvanut merkittävästi. Sisäinen yhteistyö ja tavoitteiden asettaminen on tiivistynyt ja Lissabonin sopimuksen voimaantulo on luonut energiapolitiikalle selkeämmän ja oikeudellisen perustan. Huhtikuussa 2009, annettiin EU:n ilmasto- ja energiapolitiikasta lainsäädäntöpaketti. Tavoitetta kutsutaan 20-20-20, jolla tarkoitetaan, että EU:n energiankulutuksesta 20 % tulisi saada uusiutuvista lähteistä, kasvihuonekaasupäästöjä tulisi alentaa 20 % ja energiatehokkuutta tulisi parantaa 20 % vuoteen 2020 mennessä Suomella uusiutuvan energian käytön tavoite asetettiin kuitenkin 38 %:iin. (Työ- ja elinkeinoministeriö. 2014.)

5.3 Mittaaminen ja arviointi

Energiatehokkuutta pohdittaessa ja päätösten avuksi tarvitaan mitattua tietoa sekä energiatehokkuutta kuvaavia lukuja, hyvänä esimerkkinä tästä on Kuva 31. Energiatehokkuutta seurataan usein yrityksessä vain kuukausitasoilla ja käsin laadituilla raporteilla ja taseilla. Kuukausitason seurannalla on vaikea puuttua energiakulutuksen poikkeamiin jos tuotannon energiakulutus ja tuotanto vaihtelevat paljon. Parempiin tuloksiin päästään päivittäisellä tai vähintään viikoittaisella seurannalla. (Motiva b. 2014, ss. 2-3.)

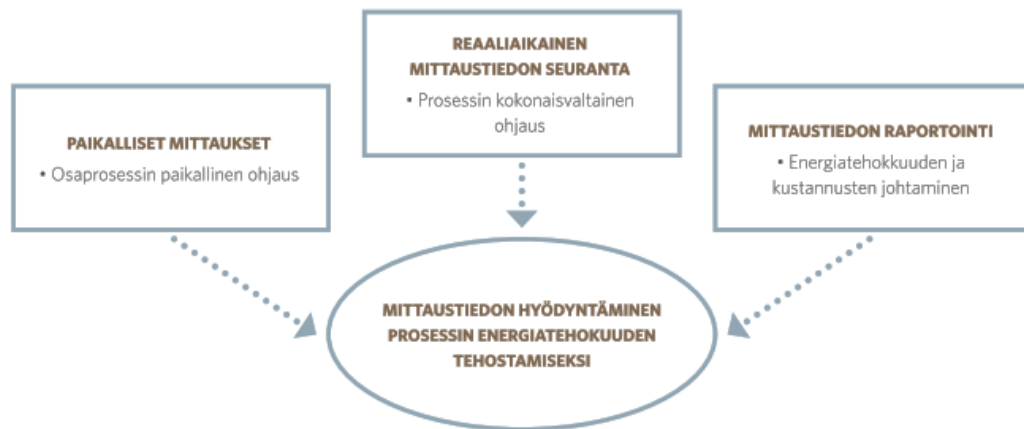
Tyypillisiä energiatehokkuuden seurantaan käytettyjä mittauksia muovien pakkausteollisuudella ovat esimerkiksi massavirtaukset, sähkötehomittaukset, paine- ja paine-ero mittaukset sekä lämpötila- ja lämpötilaeromittaukset. Energiankäytön tehostamisessa energiankulutukseen vaikuttavat suureet mitataan mutta kaikkea ei voi tai kannata edes mitata. Päätöksiä varten on selvitettävä mikä on riittävän järkevä ja taloudellisesti perusteltu mittaustarkkuus. Lisäksi on selvitettävä, mikä on sopiva mittausmenetelmä kyseessä olevan suureen mittaamiseen, mihin kohtaan ja miten prosessissa mittalaitteet sijoitetaan, sekä reunaehdot, joita mitattava kohde asettaa. Tyypillisiä energiatehokkuuden tunnuslukuja ovat esimerkiksi laitekohtaiset sähkötehot ja käyntiajat, lämmön talteen oton hyötysuhde, lämpö- ja sähköenergian kokonaiskäyttö sekä sähköön ominaiskulutus. Energiatehokkuuden mittaamiseen tarvittavat mittarit voivat olla osa jo olemassa olevaa mittarointia tai uusia. Hankittaessa kokonaan uutta mittausjärjestelmää tai laajennettaessa jo olemassa olevaa kiinteistö- tai prosessiautomaatiojärjestelmää voidaan prosessissa edetä Kuvan 32 osoittavan kaavion mukaan. (Motiva b. 2014, ss. 2-7.)



Kuva 32. Energiatehokkuuden mittausjärjestelmän hankinta. (Motiva b. 2014, s. 5).

Mittausten laatua ja mittausinstrumenttien toimivuutta on seurattava järjestelmällisesti sekä huolto- ja kunnossapito-ohjelman mukaisesti. Mittauslaitteet tulee lisäksi kalibroida. Energiatehokkuuden mittaus- ja seurantajärjestelmä, Kuva 33 mahdollistaa nopean reagoinnin muutoksiin ja parantaa osaltaan energiatehokkuuden hallintaa. Panostaminen kerätyn tiedon käsittelemiseen ja analysointiin antaa arvokasta tietoa jatkotoimenpiteitä varten ja maksaa itsensä takaisin pienentyneinä energiakustannuksina. Energiatehokkuuden seuranta tulee olla säännöllistä ja

yksinkertaisimmillaan se voi sisältää vain paikallisesti luettavia kenttämittauksia. Halutessa seuranta voidaan kehittää niin, että se liitetään yrityksen jo olemassa oleviin kiinteistö- tai prosessiautomaatiojärjestelmiin. (Motiva b. 2014, ss. 4-6.)



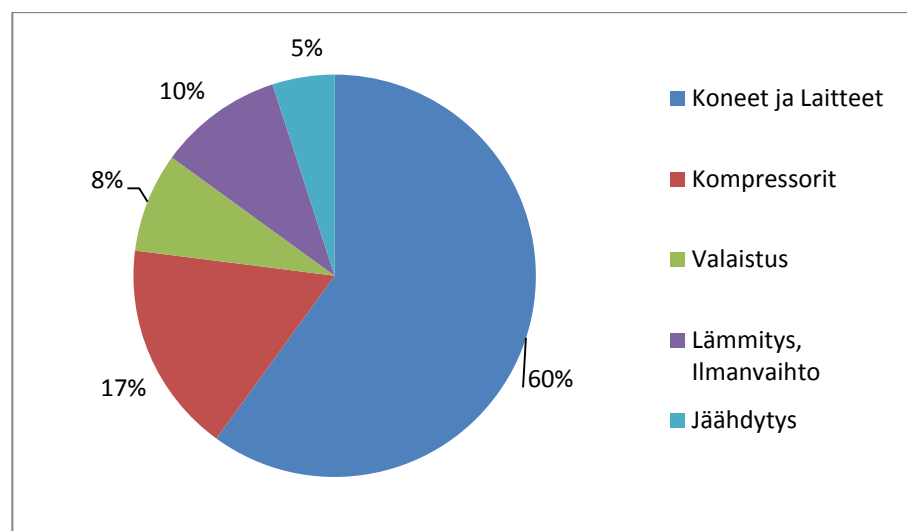
Kuva 33. Energiatehokkuuden mittaus ja seurantajärjestelmä (Motiva b. 2014, s. 4).

Käytännössä saatu mittausdata jalostetaan käyriksi, jakaumiksi ja taulukoiksi. Hyvä esimerkki on trendikuvaajat, jotka tuovat esiin tarkasteltavan ilmiön vaihtelun ajansuhteen sekä muutosten suuruudet ja suunnat. Tyypillisesti energiatehokkuudesta saatuja raportteja käytetään tuotannon nykytilan arvioinnissa, investointipäätöksissä ja toimenpiteiden vaikutusten seurannassa. Raportoituja tietoja voidaan käyttää myös lupien ja säädösten todentamiseen. Energiatehokkuuden mittaamisessa ja arvioinnissa ei ole kyse kerran tehdystä projektista vaan mittaaminen ja seuranta ovat osa jokapäiväistä työtä. Energian käytön tehostamisessa tarvitaan koko organisaation osaamista ja innostuneisuutta kannattavuuden sekä energiatehokkuuden parantamiseksi. (Motiva b. 2014, ss. 1-11.)

6 ENERGIAN KÄYTTÖ MUOVIPOHJAISTEN PAKKAUSTEN PROSESSOINNISSA

Maailman talouden kriisi ja energian hinnan nouseminen ovat esimerkkejä syistä, jotka ovat johtaneet muoviteollisuuden kilpailun lisääntymiseen mutta myös yritykset vastakkain oman kannattavuutensa kanssa. Ylläpitääkseen kilpailukykyistä yritystä, on muovipohjaisilla pakkausyrityksillä oltava tehokas prosessi energian ja teknologioiden hallitsemiseksi sekä tieto markkinoista, taloudesta ja kehityksestä. (Eurecipe. 2006, s. 3.)

Muovipakkausten prosessoinnissa kuluu energiaa eniten moottoreihin, voimasiirtoon, lämmitys- ja jäähdytysyksikköihin, kompressoreihin, rakennuksen lämmityskustannuksiin ja valaistukseen. Kuvassa 34 on esitelty pakkausmuoviteollisuuden energiataseen jakautuminen. Eroa energiankulutuksella on myös käytetyillä prosessimenetelmällä ja muoveilla. Esimerkiksi kaikilla materiaaleilla on eri sulamislämpötilat. Taulukkoon 4 on kerätty tässä työssä käytettyjen muovilaatujen ruiskuvalussa ja ekstruusiassa käyttämä energian ominaiskulutus ja hiilijalanjälki. (Van Heur, R. & Verheije, M. 2009, ss. 6-9).



Kuva 34. Pakkausmuoviteollisuuden energiatase. (Mukailtu Van Heur, R. & Verheije, M. 2009, s. 12).

Merkitystä energian kulutuksessa on myös tuotteen muodolla, koolla ja suunnittelulla. Lisäksi mitä enemmän tuotteita valmistetaan, sitä pienempi on energiankulutus. Merkitystä on myös tehtaan koolla, valuprosessin ajan kestolla ja muotin käyttötiheydellä. (Van Heur, R. & Verheije, M. 2009, ss. 12-13.)

Taulukko 4. Ympäristöominaisuudet: prosessointi (Mukailtu Ashby, M.F. 2013, ss. 496-507).

Muovi	Energia, ruiskuvalu MJ/kg	Hiilijalanjälki, ruiskuvalu kg/kg	Energia, ekstruusio MJ/kg	Hiilijalanjälki, ekstruusio kg/kg
Polypropeeni (PP)	20,4-22,6	1,5-1,7	5,9-6,5	0,44-0,49
Polyeteeni (PE)	22,7-25,1	1,7-1,9	6,0-6,6	0,45-0,49
Polyeteeni- teraftalaatti (PET)	18,7-20,6	1,4-1,55	5,8-6,4	0,44-0,48
Polystyreeni (PS)	16,5-18,3	1,24-1,37	5,7-6,4	0,43-0,48

6.1 Moottorit ja voimansiirto

Moottorit ja voimansiirto ovat eniten energiaa kuluttavat yksiköt muovien prosessoinnissa. Moottoreihin kulunut sähkömäärä voi kuukaudessa olla enemmän kuin sen ostohinta. Moottorien avulla käytetään prosessoinnin työstökoneita esimerkiksi ekstruudereita ja ruiskuvalukoneita. Muovin sulattaminen tapahtuu myös usein moottorien, yleensä sähkövastusten avulla. (Eurecipe. 2006, ss. 5-30)

Voimansiirtona käytetään pääasiassa etenkin valukoneissa kolmea eri menetelmää. Voimansiirtoa tarvitaan kun muottiin ruiskutetaan muovimassaa, muotti avataan, ja suljetaan sekä, kun muottia puristetaan. Lisäksi voimansiirtoa tarvitaan ekstruusiossa kun pyöritetään ekstruuderin ruuvia. Ekstruusiossa suuri merkitys energiankulutukseen on juuri ruuvin valinnalla. Yleisimmin voimaansiirtoon käytetään hydraulii-, sähkö- tai hybridikäyttöisiä laitteita. Hydraulikkaa käytetään hyvin yleisesti muovien prosessoinnissa. Vanhimmissa ruiskuvalukoneissa käytetään vain yhtä hydraulispumppua, joka toimii suurella kapasiteetilla, jolloin myös energiaa kuluu enemmän. Paineilmaa syötetään jatkuvasti pumpulle, jotta systeemi voi olla käytössä koko ajan. Tämän tuloksena myös sähkömoottoria käytetään jatkuvasti ja tilanteesta seuraa tyhjäkäyntikuormitus. Hydraulispumput toimivat koko ajan, vaikka niitä ei tarvittaisi. Viime vuosikymmeninä on alettu käyttää useita pumppuja hydraulissysteemeissä yhdessä paineensäätöventtiilien kanssa. Verrattaessa yhden pumpun käyttöön, monen pumpun käyttö voi pienentää energian kulutusta jopa 30 %:a. Nykyisin taloudellisemmat pumput ovat jo käytössä uusimmilla koneilla. (Van Heur, R. & Verheije, M. 2009, ss. 9-10.)

Täysin sähkökäyttöiset ruiskuvalukoneet ovat olleet jo jonkin aikaa markkinoilla ja ne säästävät verrattaessa hydraulikäyttöisiin koneisiin enemmän energiaa. Servomoottoreita käytetään muotin avaamiseen ja sulkemiseen ja suurimmat energiahyödyt saavutetaan siinä, ettei tyhjäkäyntikuormitusta synny. Häviöitä ja sähköä ei kulu turhaan koska jatkuvaa painetta ei tarvitse ylläpitää systeemissä ja välitön

voimansiirto käytetään kokonaan sähkökoneelle. Aloituskustannukset ovat yleensä korkeammat sähkökäyttöisille koneille kuin hydraulisille mutta pidemmällä aikavälillä saadaan energiasäästöjä aikaiseksi. Energiasäästöjen lisäksi, sähkökäyttöisillä koneilla on myös muita hyötyjä verrattuna hydraulisiin. Hyötyjä ovat esimerkiksi, ettei tarvita hydraulisöljyjä, ylläpitokustannukset ovat alhaisemmat, sähkölaitteet ovat varmempia toimimaan, ne synnyttävät vähemmän melua sekä niillä on pienempi vedenkulutus. Lisäksi täysin elektronisia ruiskuvalukoneita käytettäessä, lyhenevät työkierron jaksonajat ja tämä puolestaan kasvattaa tuotannon kannattavuutta. (Van Heur, R. & Verheije, M. 2009, ss. 9-10; Muovipoli Oy. 2014, s. 24.)

Hybridilaitteissa hyödynnetään sähköä ja hydraulikkaa. Monissa hybridilaitteissa on hydraulinen pumppu, jonka avulla puristetaan muottia. Servomootoreiden avulla ohjataan ruuvia. Laitteisto ei kuitenkaan ole kovin energiatehokas mutta tämä saattaa tulevaisuudessa muuttua kun tietoa saadaan teknologian kehityksestä enemmän. (Van Heur, R. & Verheije, M. 2009, s. 10.)

Muovipakkausten prosessoinnissa paljon energiaa kuluttavat laitteet on suunniteltava ja sijoitettava prosessiin huolellisesti, niin että ne toimivat tarpeen mukaan eivätkä kuluta ylimääräistä energiaa. Etenkin tyhjäkäyntikuormitusta tulee välttää. Lisäksi on tärkeää jo etukäteen suunnitella moottorien koko ja teho oikein, jotta ylimääräiseltä energian kulutukselta vältytään. (Van Heur, R. & Verheije, M. 2009, ss. 6-9).

6.2 Prosessin lämmittäminen ja jäähdyttäminen

Suuren määrän energiaa voi kuluttaa monen muovin tarvitsema esikuivaus sekä lämpötilavaihtelut työkierron eri vaiheissa. Lämmittämiseen kuluu myös energia kun muotit, ilmavirta ja nippitelat pitää lämmittää. Sääolosuhteet saattavat vaikuttaa myös lämmitykseen, etenkin talvella jolloin energiaa tarvitaan enemmän. (Eurecipe. 2006, ss. 5-29)

Jäähdyttämisen käytetään pääasiassa vettä, ilmaa tai jäähdytyskoneita. Tuotteen jäähdyttäminen on erittäin tärkeä toimenpide, jotta sille ei pääse syntymään vääristymiä. Ajallisesti jäähdytys on työkierron pisin vaihe ja sen optimoinnilla voitaisiin saada aikaan huomattavia energiasäästöjä. Jäähdyttämistä tarvitaan myös muualla, esimerkiksi hydraulisöljyjen ja nippitelojen jäähdyttämiseen. Vedellä jäähdyttäminen on yksi yleisimmistä keinoista, jossa vesi kiertää muotin jäähdytyskanavistoissa. Erittäin hyvä energiansäästö menetelmä olisi miettiä vapaanjäähdytyksen mahdollisuuksia. (Eurecipe. 2006, s. 5; Kurri, V. ym. 1999, ss. 80-91.)

6.3 Paineilma, kompressorit

Paineilmaa käytetään erityisesti puhallusmuovauksessa ja kalvonvalmistuksessa mutta sitä tarvitaan myös muissa tilanteissa. Paineilman käyttö on sitä kalliimpaa mitä korkeampia paineita halutaan käyttää ja kulut voivat olla kymmenen kertaa korkeampia

kuin pelkän sähkön käyttö. Hyvin tärkeää on optimoida paineilman käyttö ja vähentää sen käyttöä sieltä missä mahdollista. (Eurecipe. 2006, ss. 5-36.)

6.4 Tilojen lämmitys ja valaistus

Muoviteollisuudessa lämmityskustannukset voivat olla erittäin merkittäviä energian kuluttajia erityisesti talvisin, jolloin tiloja pitää lämmittää enemmän. Valaistus vaatii myös energiaa ja on huomattava, että suuren energian, valaistus kuluttaa myös silloin kun valot on unohdettu tai jätetty turhaan päälle. Valaistus on kuitenkin erittäin tärkeässä roolissa työntekijälle, jotta hän voi suorittaa työnsä tehokkaasti ja turvallisesti. (Eurecipe. 2006, ss. 5-6; Van Heur, R. & Verheije, M. 2009, ss. 6-9.)

7 ENERGIAITEHOKKUUDEN PARANTAMINEN

Energiatehokkuuden parantamiseen on monia syitä, mutta etenkin muovipakkausteollisuudella energian käyttö ja sen kallistuminen aiheuttavat suuret kustannukset. On tärkeää vähentää ja tehostaa energiankäyttöä sieltä missä se on mahdollista myös materiaalitehokkuuden, ympäristön ja ilmastomuutoksen takia. Tässä kappaleessa käydään läpi työssä käsiteltävien muovipakkausten prosesseissa mahdollisesti tehtäviä energiansäästötoimia, sekä keinoja löytää apua energiatehokkuuden parantamiseen. (Teknologiateollisuus a. 2012)

7.1 Energiakatselmukset

Paras tapa ylläpitää kannattavuutta energian hinnan noustessa on jatkuva energiatehokkuuden parantaminen. Suomessa apua jatkuvaan parantamiseen voi saada energiakatselmuksella, jossa tavoitteena on analysoida halutun kohteen kokonaisenergian käyttö, selvittää energiansäästöpotentiaali ja esittää ehdotettavat säästötoimenpiteet kannattavuuslaskelmineen. Yrityksille energiakatselmustoiminta on hyvä keino tehostaa energiankäyttöään ja saavuttaa sitä kautta merkittäviä kustannussäästöjä. Energiankäytön tehostuessa myös ympäristöön kohdistuva kuormitus vähenee koska katselmuksissa selvitetään mahdollisuudet uusiutuvien energiamuotojen käyttöön. Energiansäästöpotentiaalin lisäksi raportoidaan ehdotettavien toimenpiteiden vaikutus CO₂-päästöihin. Energiakatselmus perustuu toteutusajankohdan tuotanto-, energiankulutus- ja käyttötietoihin, jossa pyritään ottamaan mahdollisimman paljon huomioon myös tiedossa olevat ja suunnitellut muutokset. Energiakatselmus pyritään liittämään muihin toimintaprosesseihin niin, että syntyy työkalu, jota voidaan käyttää apuna energiatehokkuuden jatkuvassa seurannassa ja ylläpidossa. Työ- ja elinkeinoministeriö (TEM) tukee teollisuusalan energiakatselmusten toteutusta. Motivan tehtäviin kuuluu TEM:in tukeman energiakatselmustoiminnan seuranta, edistäminen ja kehittäminen yhteistyössä alan asiantuntijoiden kanssa. Kuvassa 35 on esitelty energiakatselmuksen ja analyysin vaiheet. (Motiva a. 2014; Teknologiateollisuus a. 2012).

1. Katselmuksen tai -analyysin käynnistäminen

- Tilaaaja kiinnostuu mahdollisuuksistaan tehostaa energiankäyttöä.
- Tilaaaja hankkii taustatietoa energiakatselmuksista ja -analyyseista Motivasta.
- Tilaaaja määrittelee katselmuksen mahdolliset erityispainopisteet.
- Tilaaaja pohtii ennalta tapoja hyödyntää energiakatselmuksen tai -analyysin tuloksia energiatehokkuuden jatkuvan parantamisen työkaluna.

2. Katselmoijan valinta

- Tilaaaja laatii toimintaansa ja tarpeitansa mahdollisimman yksityiskohtaisesti kuvaavan tarjouspyynnön ja kilpailuttaa valitsemansa asiantuntevat katselmoijayritykset.
- Tilaaaja valitsee energiakatselmuksen tai -analyysin toteuttajan. Energiatuen myöntäminen edellyttää kahden Motivan auktorisoiman vastuuhenkilön nimeämistä.

3. Tukihakemus

- Tilaaaja toimittaa tukihakemuksen paikalliseen TE-keskukseen.
- Tilaaaja odottaa tukipäätöstä. Sitovat sopimukset katselmoijan kanssa voidaan tehdä vasta tukipäätöksen saannin jälkeen.
- Tilaaaja käynnistää katselmushankkeen.

4. Aloituspalaveri

- Energiakatselmoija ja tilaaaja sopivat katselmuksen toteutuksen yksityiskohdista, painotuksista ja aikataulutuksesta.
- Tilaaaja luovuttaa katselmoijan käyttöön työhön tarvittavat lähtötiedot.

5. Kenttätö ja mittaukset

- Katselmoija käy läpi lämpöä, polttoaineita, sähköä sekä vettä kuluttavat järjestelmät ja laitteet.
- Katselmoija haastattelee teknistä henkilöstöä ja tilojen käyttäjiä.

6. Nykytila-analyysi, potentiaalit ja toimenpide-ehdotukset

- Katselmoija analysoi energiankäytön nykytilan ja säästömahdollisuudet lähtötietojen, mittausten, haastattelujen ja laskelmien perusteella.
- Katselmoija selvittää uusiutuvien energiamuotojen käyttö- ja lisäämismahdollisuudet.

7. Raportointi

- Katselmoija laatii työstä katselmusraportin, jossa kuvataan selkeästi kohteen energiankäytön jakautuminen, toimenpide-ehdotukset, säästöpotentiaalit ja niiden laskenta-perusteet.

8. Luovutustilaisuus

- Katselmoija esittelee tulokset ja toimenpide-ehdotukset tilaajalle.
- Tilaaaja arvioi toimenpiteiden toteutettavuutta ja päättää alustavasti jatkotoimista.

9. Maksatusselvitys

- Tilaaaja toimittaa energiakatselmustuen maksatusselvityksen, tilaajan laadunvalvontalomakkeen ja valmiin raportin liitteineen TE-keskukseen.
- TE-keskus maksaa tuen tilaajalle.

10. Toteutus, jatkuva seuranta ja toiminnan kehittäminen

- Tilaaaja toteuttaa ehdotettuja toimenpiteitä laatimansa aikataulun mukaisesti.
- Tilaaaja hyödyntää energiakatselmuksen tuloksia energianhallinnan välineenä.
- Tilaaaja omaksuu energiatehokkuuden toimintatavakseen ja pyrkii sen jatkuvaan parantamiseen.

Kuva 35. Energiakatselmuksen ja -analyysin vaiheet (Motiva a. 2014).

ESCO (Energy Service Company) on palveluliiketoimintaa, jossa ulkopuolinen energia-asiantuntija toteuttaa asiakasyrityksessä investointeja ja toimenpiteitä energian säästämiseksi. Liiketoiminta sitoutuu halutulla tavalla energiankäytön tehostamistavoitteiden saavuttamiseen asiakasyrityksessä. ESCO-palvelun tarjoajana voi toimia esimerkiksi erillinen ESCO-yritys tai energiatehokkaita laitteita tai järjestelmiä valmistava ja urakoiva yritys. ESCO-palveluun liittyy takuu syntyvästä energiasäästöstä ja kustannukset maksetaan säästöillä, jotka syntyvät alentuneista energiakustannuksista. ESCO-palvelu sopii teollisuusyrityksiin ja niiden hankkeille järkeviä kohteita löytyy esimerkiksi, teollisuuden käyttöhyödykejärjestelmistä ja energiantuotannosta. Teollisuudessa hyviä ESCO-kohteita ovat esimerkiksi pumppausten optimoinnit ja paineilmajärjestelmien säädöt. Myös uusiutuvan energian hyödyntämistä edistävät hankkeet voidaan toteuttaa ESCO-palveluna. Lisäksi tuotannon materiaalien säästäminen on mahdollista toteuttaa ESCO-palvelun toimintatapaa hyödyntäen. ESCO-sopimukset laaditaan hankekohtaisesti ja hankerekisteriä ylläpitää Motiva verkkosivuillaan. (Motiva a. 2014.)

7.2 Energian vähentäminen muovipakkausten prosessoinnissa

Energiasäästöjä muovipakkausteollisuudessa prosessikohtaisesti mietittäessä on hyvä tehdä energiankäytön peruskuormituksen lisäksi yleiskatsaus mihin, missä ja miksi energiaa käytetään. Energian kulutuksen yleiskatsauksessa voidaan tutkia ja pohtia esimerkiksi kenttätutkimuksen avulla seuraavaa:

- Missä ovat isoimmat moottorit?
- Onko koneita tai laitteita päällä silloin kun ei ole tuotantoa?
- Onko laitteita jäänyt päälle jo suljetuilla linjoilla?
- Ovatko moottorit oikean kokoisia, pystyisikö pienempi moottori tekemään työn tehokkaammin?
- Ovatko koneissa olevat lämpöeristeet tehokkaita tai kunnossa?
- Ovatko jäähdyttimet asetettu oikeaan lämpötilaan tai jätetty päälle kun ei ole tuotantoa? Olisiko vapaajäähdytys mahdollista?
- Ovatko vakuumipumput asetettu sopiviin paikkoihin, niin ettei tapahdu energiahäviöitä?
- Ovatko kompressorit oikeilla paikoilla, onko paineensäätö asetettu oikein ja kuka kytkee paine-ilman pois päältä?
- Onko vesi-, höyry- tai ilmavuotoja?
- Valaistus?
- Lämmitys?
- Toimistolaitteet?

(Eurecipe. 2006, ss. 6-7.)

7.2.1 Tasokalvomenetelmä ja puhalluskalvoekstruusio

Ekstruusio on osa tasokalvomenetelmää ja puhalluskalvoekstruusiota, joiden avulla valmistetaan muovikasseja ja -pusseja. Ekstruusiossa mahdollisuudet energiasäästöihin ovat yleensä erittäin potentiaaliset. Menetelmän suurimmat energian kuluttajat ovat moottorit, sähkö- lämmitys- ja jäähdytysyksiköt sekä valaistus. Kaikissa ekstruusioprosesseissa erittäin tärkeässä roolissa on kierukkaruuvi, jonka avulla polymeerimassaa kuljetetaan ekstruuderissa eteenpäin. Matkan aikana muovigranulaatti tai – jauhe sulaa kitkan tai kitkan ja sähkövastusten avulla ja lämpötila on hyvä pitää niin alhaisena kuin mahdollista. Ruuvien geometrialla on tärkeä vaikutus ja sen muodolla säädellään esimerkiksi paineenkorostusta, nopeutta, termisiä ongelmia ja materiaalin tarttuvuutta. Suurin osa käytetystä energiasta on suorassa suhteessa ekstruuderin ja ruuvien toimintaan. On tärkeää valita oikea ekstruuderin ja ruuvi koska huonolla valinnalla, esimerkiksi liian tehokkaalla tai tehottomalla on vaikutuksia suurempaan energiankulutukseen. (Kurri, V. ym. 1999, ss. 99-100; Van Heur, R. & Verheije, M. 2009, s. 14.)

Tasokalvomenetelmässä suurimman mahdollisimman hyötysuhteen saavuttamiseksi on tärkeää optimoida ja kontrolloida veden määrä ja lämpötila esimerkiksi nippitelojen jäähdytyksessä tai lämmittämisessä. Lämpötilaa tulisi laskea myös muotin lämmityksessä ja siellä missä mahdollista, mutta niin, että sulan muovimassan virtaama on jatkuvaa. Lisäksi tärkeää on leikkurien moottorien ja muiden laitteiden mitoitus ja koko niin, että ne pystyvät vastaamaan ekstruuderin kapasiteettiin. Puhalluskalvoekstruusiossa ja myös puhallusmuovauksessa edellä olevien asioiden lisäksi, on huomioitava myös paineilman käyttö. Paineilman käyttö voi olla puhalluskalvoekstruusion kallein tuotantopanos ja on hyvä tarkastaa, että se on asetettu pienimmälle mahdolliselle. Paineilmaa ei ole hyvä käyttää esimerkiksi siivoustarkoituksiin tai ilmanvaihtoon ja sen käyttöä olisi hyvä minimoida. Ilmavirran, niin ulkoisten kuin sisäistenkin lämpötila sekä tuulettimien hyvä ilmanvaihto leikkureiden läheisyydessä on prosessissa hyvä tarkastaa ja säätää. (Eurecipe. 2006, ss. 27-28; Van Heur, R. & Verheije, M. 2009, s. 14.)

7.2.2 Ekstruusiopuhallusmuovaus ja ruiskuvalupuhallusmuovaus

Ekstruusiopuhallus- ja ruiskuvalupuhallusmuovauksen avulla valmistetaan esimerkiksi juomapulloja. Puhallusmuovauksessa on monia, etenkin koneisiin ja laitteisiin liittyviä toimintoja, joiden avulla voidaan parantaa energiatehokkuutta. (Eurecipe. 2006, s. 33.)

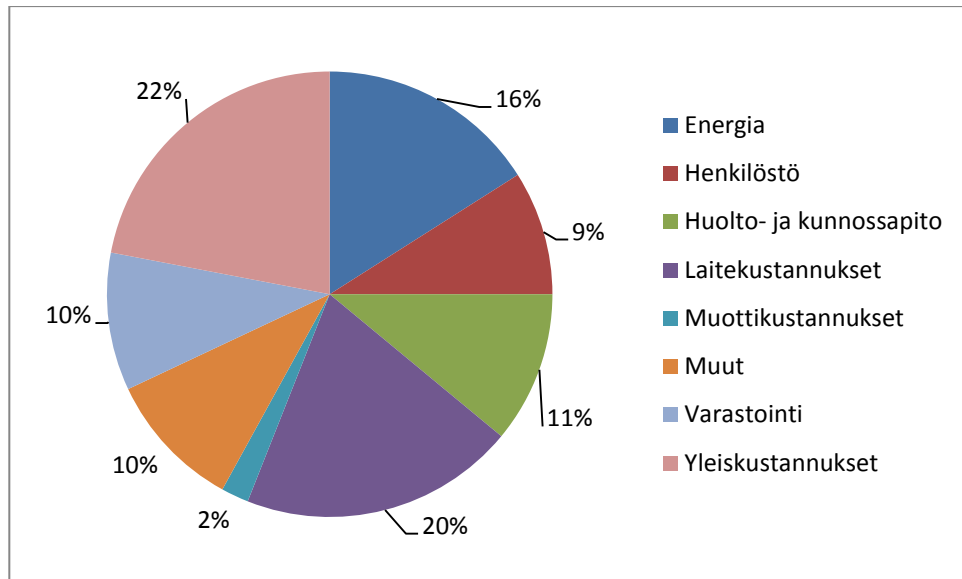
Lämpötila on puhallusmuovauksessa hyvä energiansäästön kannalta pitää niin matalana kuin mahdollista mutta lisäksi prosessi on hyvä optimoida niin, että sula muovimassa poistuu juuri oikeaan aikaan ja oikeassa vaiheessa muottiin. Lyhempi jäähdytysaika on myös energiansäästön kannalta oleellinen, esimerkiksi muovipullon seinämän paksuutta voidaan kontrolloida niin, että muottia säädettäessä muovimassa jakautuu tasaisesti muotin pinnalle. Menetelmällä on vaikutuksia lyhyempään jäähdytysaikaan ja sitä kautta vaikutus myös energiansäästöihin. Energiaa säästettäessä

tärkeää on myös muotin sulkeminen. Hydraulissylinterit sulkevat muotin vasten puhalluspainetta ja tärkeää on voiman optimointi. Voiman ei tule olla suurin mahdollinen, vaan juuri tarpeeksi hoitaakseen työn. Juomapulloa jäähdyttäessä jäähdytysnopeus riippuu lämmön siirtymisestä muotille ja muotista juomapulloon. Vedellä on tunnetusti korkeampi lämmönsiirtonopeus kuin esimerkiksi ilmalla. Jäähdytykseen joutuneet ilmakuplat saattavat hidastaa prosessia ja siksi systeemi tulee eristää hyvin, jotta ilmakuplilta välttyttäisiin. Energiansäästön kannalta olisi hyvä, ettei trimmauksen yhteydessä syntyisi paljon leikkuujätettä. Tähän voidaan vaikuttaa muovipullon hyvällä suunnittelulla. (Eurecipe. 2006, s. 34.)

Paineilman avulla juomapullot puhalletaan niin, että puhallusilma on putkimainen. Paineita tarvitaan riippuen pullon koosta 6-10 bar:a, aina PET-pullojen vaatimaan 40 bar:iin. Tarpeettoman suuri paineiden käyttö tuhlaa energiaa ja on kallista käyttää. Ekstruuderin on yleensä epäkäytännöllinen pysäyttää lyhyeksi aikaa, koska se saattaa alentaa sylinterin lämpötilaa ja polymeerimassa on tällöin poistettava tai vaihdettava. Hydraulikka on kuitenkin mahdollista sammuttaa kun tuotantoa ei synny. Tämä on energiatehokasta ja sen pitäisi olla standardi käytäntö aina kun tuotantoa ei synny. (Eurecipe. 2006, s. 35.)

Muovipulloa jäähdytettäessä, nopeuden määrää jäähdytysteho. Jäähdytysvedellä ja muotin jäähdytyskanavilla pitää olla hyvä kontakti, lisäksi hyötysuhde pienenee välittömästi jos systeemiin pääsee ilmaa. Systeemin paineistaminen saattaa usein vähentää jaksonaikaa ja tätä kautta edesauttaa tehokkaampaan ja nopeampaan jäähdytykseen. Energiasäästöjä saadaan aikaa myös säätämällä koneiden asetukset ja parametrit oikein niin, ettei ekstruuderin kapasiteettia käytetä turhaan. Suurimmat säästöt voidaan saada aikaan prosessien parametrien säädöillä. Jokaisessa vaiheessa tulisi käyttää juuri se energiamäärä mitä vaihe tarvitsee, eikä yhtään yli tai ali. (Eurecipe. 2006, ss. 35-36.)

Kompressorit ja paineilmasysteemit ovat energiaa kuluttavia puhallusmuovauksessa ja yli 60 %:a energiakuluista voi johtua erilaisista kompressoreista. Energiansäästön kannalta, niiden valinnassa ja käytössä tulee huomioida oikean tyyppisen ja kokoisen kompressorin hankinta, optimipaineen käyttö sekä eliminoida vuodot paineilmasysteemeissä. Puhallusmuovauksessa käytetyimmät ja vanhimmat koneet ovat olleet hydrauliskäyttöisiä. Aikaisemmin työssä on jo todettu, että hydrauliskäyttöiset verrattaessa täysin sähkökäyttöisiin koneisiin ovat energiaa kuluttavampia. Täysin sähkökäyttöiset koneet ovat nykyisin energiatehokkaimpia ratkaisuja. Ne eivät pelkästään eliminoi energiahäviöitä vaan parantavat myös tarkkuutta ja työkierron jaksonaikaa ohjaamalla mikroprosessorin avulla välittömän voimansiirron suoraan sähkökoneelle. Täysin sähkökäyttöisten koneiden käytöllä mahdolliset säästöt on arvioitu olevan noin 30-40 %. Kuvassa 36 on havainnollistettu PET-pullojen kustannusten jakautuminen puhallusmuovauksen yhteydessä. (Eurecipe. 2006, ss. 36-37.)



Kuva 36. PET-pullon kustannusten jakautuminen (Mukailtu Eurecipe. 2006, s. 38).

7.2.3 Ruiskuvalu ja lämpömuovaus

Ruiskuvalutekniikkaa ja lämpömuovausta käytetään avuksi valmistettaessa elintarvikepakkauksia. Ruiskuvalu tarjoaa paljon suuremman potentiaalin energiasäästöihin kuin esimerkiksi ekstruusio. Ruiskuvalu on prosessina melko energiantensiivinen, koska muoviraaka-aine pitää lämmittää, pakottaa muottiin korkeassa paineessa ja lopuksi jäähdyttää. Eniten energiaa ruiskuvalussa kuluu sähkökäyttöisiin laitteisiin ja lämmitysyksiköihin. Energiankäyttöä voidaan ruiskuvalulla tarkastella kahdessa vaiheessa. Ensimmäinen vaihe on suuren tehon tarvitseminen lyhyen ajan kuluessa kun polymeeri ruiskutetaan muottiin. Toinen vaihe on vähemmän tehoa tarvitseva mutta pidemmän aikaa kestävä polymeerin jäähdytys. (Eurecipe. 2006, ss. 17-20; Wortberg, J. 2010.)

Ruiskuvalussa on erittäin tärkeä kustannusten ja energian säästämiseksi käyttää energiatehokkaita koneita. Energiatehokkaat koneet säästävät pidemmällä aikavälillä enemmän kustannuksia, eikä aloituskustannusten tulisi vaikuttaa päätöksiin koneita hankittaessa. Täysin sähkökäyttöisillä ruiskuvalukoneilla pystytään säästämään energiaa jopa 30–60 % verrattaessa hybridi- tai hydrauliskäyttöisiin koneisiin. Energian säästämiseksi tulee myös prosessi, parametrit ja asetukset tulee optimoida. (Eurecipe. 2006, ss. 20-22.)

Ruiskuvalussa suurien lämpötilavaihteluiden vähentämisellä eri työkiertojen välillä pystyttäisiin saamaan aikaan huomattavia energiasäästöjä. Työkierron hitain vaihe on jäähdytys ja sitä pystytään nopeuttamaan jopa 20-50 %:a käyttämällä konformista jäähdyttämistä. Menetelmän avulla muotin jäähdytyskanavat on mahdollista luoda niin, että ne seuraavat tarkasti halutun tuotteen muotoja. Jäähdytys nopeutuu kun kosketus muotin ja tuotteen välillä tehostuu. Energiaa voitaisiin säästää myös moottoreissa ja käyttämällä taajuusmuuttajia. Taajuusmuuttajat ovat laitteita, jotka säätelevät tuotantolaitteiden moottorien nopeutta ja momenttia. Niiden avulla voidaan optimoida

moottorin nopeus vastaamaan tarvittaman tehon määrää. (Eurecipe. 2006, ss. 20-22; Wortberg, J. 2010.)

Hukkaenergian talteenotto ja kierrättäminen voisi ruiskuvalussa vähentää tuotannon energiankulutusta merkittävästi. Esimerkiksi ruiskuvalukappaleen jäähtymisen aikana vapautuva energia pystytään hyödyntämään pumppaamalla kuumentunut jäähdytysvesi aktiivisesti seuraavaa annosta plastisoivalle ruuville. Lämmön karkaamista prosessista tulisi myös välttää ja tähän voidaan vaikuttaa ruuvien tarkalla lämmöneristyksellä. (Eurecipe. 2006, ss. 20-22; Wortberg, J. 2010.)

Lämpömuovauksessa, lämmön avulla muovataan puolivalmisteista tai muovilevyistä tuotteita. Prosessi on hyvin energiasäästöinen mutta mahdollisuuksia energiansäästöihin löytyy. Esimerkiksi muovilevyn lämmittämiseen löytyy monia erilaisia keinoja sähkön lisäksi. Tärkeää on valita lämmitysmenetelmä muovimateriaalille sopivaksi koska kaikki menetelmät eivät sovi kaikille muovimateriaaleille. Lisäksi sähköenergian kulutusta kannattaa mitata jokaisen sähköä kuluttavan yksikön ohessa. (Eurecipe. 2006, s. 45-46.)

Lämmitys on erittäin tärkeä optimoida tuotannossa ja miettiä sen tehokkuutta ja kustannuksia. Energiatavasta olisi lämmityksellä saada juuri oikea lämpötila muovilevyn jokaiseen kohtaan. Mietittäessä lämmittimien vaihtoa tehokkaampiin yksikköihin kannattaa kuitenkin suorittaa ensin esimerkiksi energiakatselmus, jonka avulla kokonaiskustannuksia voidaan määrittää. Muovilevyjä voidaan lämmittää myös maakaasun tai infrapunasäteilyn avulla. Maakaasu voi tulla jopa 3-7 kertaa halvemmaksi kuin sähkö, lisäksi lämmitysaika vähenee käytettäessä maakaasua. Infrapunateknologia on myös energiaa säästävää ja sen käyttö on suositeltavaa ohuiden muovilevyjen muovauksessa. Infrapunasäteilijöillä varustettuja koneita voidaan säätää hyvinkin pienillä lämpötila alueilla. Paksujen muovilevyjen lämmittämiseen suositellaan uunissa tapahtuvaa konvektiota. (Eurecipe. 2006, ss. 45-48; (Kurri, V. ym. 1999, s. 124.)

Työkierron optimointi on myös energian kulutusta vähentävää. Lämmittämiseen ja jäähtyttämiseen kuluva aika olisi energiansäästön kannalta hyvä ennustaa tietokoneohjelmien avulla. Lisäksi Servomoottoreiden käytöllä hydraulikan tai paineilman tilalla, voidaan säästää energiakuluissa ja lisätä koneiden elinikää. (Eurecipe. 2006, ss. 45-48.)

7.2.4 Suspensiopolymerointi ja EPS-tuotteiden valmistus

EPS-tuotteiden valmistus kuluttaa vain vähän energiaa. Erittäin keskeinen rooli valmistuksessa on vesihöyryllä, jonka avulla EPS-helmet paisutetaan. Prosessista energiatavastaan tekee vesihöyryn kondensoituessa, veden talteenotto ja käyttö prosessissa uudelleen monta kertaa. (ACH foam technologies. 2010.)

EPS tuotteita valmistetaan joko valamalla tai ekstruusiovaahdottamalla. Valu muistuttaa ruiskuvalutekniikkaa joten energiansäästön kannalta kappaleessa 7.2.3 käytyjä parannusehtoja voidaan soveltaa myös EPS-tuotteiden valmistukseen. (Kurri, V. ym. 1999, ss. 120-122.)

8 MATERIAALI- JA ENERGIAATEHOKKUUDEN HYÖDYT

Materiaali- ja energiatehokkuus tuovat mukanaan hyödyn, joiden avulla yritys voi kehittää ympäristöjärjestelmäänsä ja tutkia tuotteidensa elinkaarta tarkemmin. Samanaikaisesti tehostetaan myös yrityksen tuotantotoimintaa. Tehokkaan tuotannon avulla pystytään alentamaan tuotantokustannuksia, kun hankinta- ja energiakustannukset sekä päästöjen ja jätteiden käsittelykustannukset vähenevät. Yrityksen muut saamat hyödyt liittyvät esimerkiksi uusien tuoteinnovaatioiden ja liiketoimintaratkaisujen kehittämiseen sekä kestävään kilpailukykyyn. Materiaali- ja energiatehokkuuteen yrityksiä kannustaa myös tulevaisuudessa yhä tiukentuva lainsäädäntö, raaka-aineiden hinnan nousu, luonnonvarojen ehtyminen, ilmastonmuutos sekä kohoavat jäte- ja kemikaalikustannukset. (GarbageX. 2014.)

8.1 Luonnonvarojen ja kustannusten säästöt

Tällä hetkellä maapallolla käytetään luonnonvaroja nopeammin kuin ne ehtivät uusiutua. Aiemmin on jo todettu, että materiaalitehokkuudella pystytään säästämään luonnonvaroja kun vähennetään uusiutumattomien raaka-aineiden käyttöä, materiaaleja, jätteen syntyä ja hyödynnetään sivuvirtoja. Säästämällä uusiutumattomia luonnonvaroja hyödyt ovat myös siinä, että se ohjaa uusien innovaatioiden syntymiseen. Avainasemassa ovat uudet materiaalitekniikat, nanotekniikka, kierrätys ja tavaroiden korjaaminen palveluilla. Materiaali- ja energiatehokkuudella vähennetään myös päästöjä ja päästöriskejä. Luonnonvarojen säästämällä on kaksisuuntainen yhteys ilmastonmuutokseen. Tuotantoprosessit ja luonnonvarojen käyttö vaikuttavat ilmastonmuutokseen ja ilmastonmuutos taas vaikuttaa luonnonvarojen määrään, laatuun ja jakautumiseen. (Elinkeinoelämän keskusliitto. 2008; Ilmasto-opas.fi. 2014; Motiva c. 2014.)

Materiaali- ja energiatehokkuudella pystytään säästämään myös kustannuksissa. Yritykset saavuttavat kustannussäästöjä raaka-ainehankinnoissa, prosessissa, jätemaksuissa sekä energia- ja työ kustannuksissa. Saksassa tehdyn arvion mukaan, materiaalitehokkuudella pystyttäisiin Saksassa säästämään muovituotteiden valmistamisessa 2 miljardia euroa vuodessa. (Motiva e. 2008; Työ- ja elinkeinoministeriö & Ympäristöministeriö. 2013, s. 26.)

8.2 Imago

Yrityksen toimiessa materiaali- ja energiatehokkaasti, rakentaa se samalla itselleen myös imagoa. Imagon syntymiseen vaikuttaa yrityksen käytännön toiminta, viestintä ja markkinointi. Ympäristövastuullinen toiminta on nykypäivänä elinehto mutta lisäksi materiaali- ja energiatehokkaalle yritykselle se voi tarkoittaa kilpailuetua, markkina-arvon nousua ja positiivista imagoa. Esimerkiksi nykypäivänä kierrätysmuovista valmistettavat tuotteet voivat luoda positiivista imagoa kun aiemmin kierrätysmuovi liitettiin lähinnä huonoon laatuun. Kilpailukyvyn kannalta on tärkeää edistää paitsi omaa mutta myös asiakkaan materiaali- ja energiatehokkuutta, koska ne voivat olla yhä ympäristötietoisemmille asiakkaille kriteerinä. (Brand united oy. 2013; Muovipoli Oy. 2014, s. 20; Teknologiateollisuus b. 2014, s. 24.)

9 YHTEENVETO

Muovi on pakkauksena monin paikoin verraton koska sen avulla voidaan vaikuttaa tuotteeseen niin, että haitalliset vaikutukset vähenevät elinkaaren aikana. Suurin etu verrattaessa muihin pakkausmateriaaleihin, joka vaikuttaa myös energiatehokkuuteen, on muovien keveys. Kevyttä muovia kuluu pakattaessa paljon vähemmän kuin vaihtoehtoisilla tuotteilla. Muovien korvaaminen muilla materiaaleilla lisäisi energiankulutusta 220 % ja kasvihuonekaasupäästöjä 270 % elinkaaren aikana. Lisäksi pakkausten paino kasvaisi jopa 360 % jos tuotteita ei pakattaisi muoviin. Muovipakkausten kehityksessä, pakkauksessa jatkavat kevenemistään. Kymmenessä vuodessa muovipakkaukset ovat keventyneet jopa 28 %.

Muoveja on helppo suunnitella ja tehdä niistä funktionaalisesti toimivia pakkauksia, koska ne taipuvat lähes mihin muotoon tahansa. Tämä ominaisuus tehostaa materiaalitehokkuutta verrattuna muihin materiaaleihin koska pakkausten kokoa, muotoa ja painoa pystytään pienentämään ja tehostamaan.

Muovien prosessoinnissa niiden materiaalitehokkuutta lisää se, että ne käyvät lähes mihin prosessointimenetelmään tahansa. Lisäksi muoveja voidaan uudelleen sulattaa ja muotoilla, jolloin niiden raaka-aineen kulutus ja käyttö pienentyy. Muoveilla voidaan hyödyntää sivuvirrat kierrättämällä ja käyttämällä ne raaka-aineena joko saman tai jonkin muun tuotteen valmistukseen. Muovien prosessoinnissa etuja saavutetaan myös suursarjatuotannolla, jonka avulla säästetään kallista raaka-ainetta ja kustannuksia.

Materiaalitehokkuuteen vaikuttaa myös kierrätys, johon muovit sopivat erinomaisen hyvin. Useimmin muovi kierrätetään jo prosessissa, sekoittamalla sitä neitseellisen raaka-aineen joukkoon.

Muovipakkaukset kehittyvät koko ajan ja niihin voidaan painaa tai liittää erilaisia tunnistimia ja toimintaa parantavia elementtejä, jotka reagoivat olosuhdemuutoksiin parantaen edelleen muovin suojaavuustasoa ja säilyttävyyttä. Näillä älypakkauksilla on suora yhteys materiaalitehokkuuteen, koska sensorit valvovat esimerkiksi erittäin haitallisen ruokahävikin tapahtumista tai vähentävät sitä.

Muovipakkausten energiatehokkuuteen vaikuttavia asioita on lukuisia. Vertailtaessa muoveja muihin pakkausmateriaaleihin säästävät muovit enemmän energiaa ja vettä, sekä niiden kasvihuonepäästöt ja jätemäärät ovat pienempiä. Muovipakkaukset ovat usein energiatehokkaampia valmistaa kuin muut materiaalit koska ne prosessoidaan matalammissa lämpötiloissa.

Energiatehokkuuteen vaikuttaa myös energian ja materiaalin hinta. Muoveja prosessoidaan pääasiassa maaöljystä, joten niiden raaka-ainehinnat ovat sidoksissa öljyn hintaan. Öljyn hinnan nouseminen on johtanut myös muovien hinnan nousemiseen. Energian, lähinnä sähkön hinta määräytyy tarjonnan ja kysynnän edellytyksistä mutta

alati nouseva energian hinta ja ilmastonmuutos luo edellytykset energian käytön vähentämiselle sekä uusiutuvan energian käytölle.

Eniten energiaa muovipakkauksilla kuluttaa niiden prosessointi, jolla on merkittävä osa tuotantokustannuksista. Suurimmat energiankuluttajat prosessissa ovat moottorit, lämmitys- ja jäähdytysyksiköt, kompressorit, rakennuksen lämmityskustannukset sekä valaistus. Energiatohokkuutta ja sähkön käyttöä tutkittaessa, tärkeää on havainnoida kuinka energiaa käytetään. Erittäin tärkeää on tietää myös sähkön peruskuormitus, joka kuvaa sitä energianmäärää, jota käytetään kun tuotantoa ei ole.

Lainsäädännöllä pystytään myös ohjaamaan yritystä energiatohokkaaseen toimintaan. EU:n lainsäädäntöpaketin mukaan energiankulutuksesta 20 % tulisi saada uusiutuvista lähteistä, kasvihuonekaasupäästöjä tulisi alentaa 20 % ja energiatohokkuutta tulisi parantaa 20 % vuoteen 2020 mennessä.

Materiaali- ja energiatohokkuuden mittaamiseen ja tehostamiseen käytetään hyvin paljon erilaisia sovellettavissa olevia työkaluja ja mittareita. Materiaalitehokkuuden mittaamisen haasteina ovat tilastoaineistojen saatavuus ja mittareiden tarkkuus. Yrityksen kannalta materiaalitehokkuus on ennen kaikkea talouskysymys. Kilpailukykyä voidaan parantaa ja tuotantokustannuksia alentaa vähemmällä raaka-aine panoksella ja pienemmällä jätemäärällä. Työkaluja, joita voidaan käyttää materiaalitehokkuuden parantamiseen ja mittaamiseen ovat esimerkiksi ENVIMAT-malli, elinkaariarviointi, materiaalivirtojen kustannusanalyysi ja materiaali-katselmus.

Materiaalitehokkuutta voidaan parantaa huomattavasti muovipakkausalan yrityksissä. Tehostamispotentiaalia voi löytyä yrityksen sisäisistä kierrätysvirroista, laatuvirheiden havainnointi aikaisemmin tai liian hyvän laadun tekemisestä. Tehokkaimpia keinoja materiaalitehokkaaseen toimintaa on vähentää tuotannon raaka-aineiden käyttöä sekä mahdollisuuksien mukaan käyttää uusiutumattomia raaka-aineita. Lisäksi prosessoinnissa tulee ottaa huomioon koko tuotantoprosessi ja muovin kierrätysasteen lisääminen.

Energiatohokkaan toiminnan mittaamisen tueksi tarvitaan mitattua tietoa ja sitä kuvaavia lukuja. Erityisessä asemassa on kulutetun energian määrä, jota pitäisi seurata päivittäistasolla mutta vähintään viikoittain. Tällöin on helpompi puuttua energiakulutuksen poikkeamiin. Tyypillisiä seurantaan käytettyjä mittauksia ovat massavirtaukset, sähkötehomittaukset, paine- ja paine-eromittaukset sekä lämpötila- ja lämpötilaeromittaukset. Tärkeää on valita oikea mittausmenetelmä ja mittaustarkkuus. Lisäksi on pohdittava, mihin kohtaan ja miten prosessissa mittalaitteet sijoitetaan sekä reunaehdot, joita mitattava kohde asettaa. Saaduista mittaustuloksista saadaan jalostettua trendikuvaaja, joka tuo hyvin esiin tarkasteltavan ilmiön vaihtelun ajansuhteen sekä muutosten suuruudet ja suunnat. Tyypillisesti energiatohokkuudesta saatuja raportteja käytetään tuotannon nykytilan arvioinnissa, investointipäätöksissä ja toimenpiteiden vaikutusten seurannassa.

Suomessa jatkuvaan energiatohokkuuden parantamisen voi saada apua energiakatselmuksella, jossa tavoitteena on analysoida halutun kohteen

kokonaisenergian käyttö, selvittää energiansäästöpotentialiaali ja esittää ehdotettavat säästötoimenpiteet kannattavuuslaskelmineen. Energiakatselmusten toteutumista tukee Työ- ja elinkeinoministeriö. Lisäksi apuna voidaan käyttää ESCO:a (Energy Service Company), joka on palveluliiketoimintaa, jossa ulkopuolinen energia-asiantuntija toteuttaa asiakasyrityksessä investointeja ja toimenpiteitä energian säästämiseksi. Hyviä kohteita muovipakkausteollisuudessa ovat pumppausten optimoinnit ja paineilmajärjestelmien säädöt.

Muovipakkauksilla eniten energiaa kuluu muovien prosessointiin. Lisäksi omat kustannukset luo rakennusten lämmitys ja valaistus. Prosessoinnin energianmäärän tehostamiseen olisi hyvä aluksi tehdä yleiskatsaus ja selvittää mihin energiaa kuluu. Tutkimuksen voi suorittaa kenttätutkimuksena jossa selvitetään, missä ovat isoimmat moottorit ja voisiko pienempi moottori tehdä työn tehokkaammin? Käytetäänkö laitteita silloin kun tuotantoa ei ole ja onko laitteita jäänyt päälle suljetuilla linjoilla, jos näin on, on työntekijöitä ohjeistettava sulkemaan ne. Löytyykö tuotannosta vesi-, höyry- tai ilmapuotoja ja mikä on eristeiden kunto, pitäiskö ne vaihtaa tai parantaa eristystä? Ovatko vakuumpumput ja kompressorit oikeilla paikoilla, niin ettei tapahdu energiahäviöitä? Lisäksi ovatko paineilmasäädöt ja jäähdytys asetettu pienimpään mahdolliseen ja ettei niiden turhaa käyttöä esiinny? Lisäksi pitää kartoittaa rakennusten lämmityskustannukset ja valaistus. Lämmityksessä jo yhden asteen pudottaminen alentaa energiakustannuksia. Valaistuksessa on tärkeää, ettei valoja käytetä turhaan tai jätetä vahingossa päälle.

Lähes kaikissa muovipakkaustuotteiden valmistamisessa tulee energian säästön kannalta ja energiatehokkuutta parantaen tehdä seuraavia toimenpiteitä. Optimoida ja kontrolloida prosessia sekä lämmön- ja paineenkäyttöä, jäähdytystä, miettiä vapaan jäähdytyksen mahdollisuutta, välttää leikkujätettä ja käyttää hydraulikan sijasta täysin sähkökäyttöisiä laitteita ja koneita.

Muovipohjaisten pakkausten kehityksessä on todettavaa, että yritysten kannattaa edistää materiaali- ja energiatehokasta toimintaa. Tehostamisella on suora vaikutus kilpailukykyyn, kustannusten alentumiseen, jopa uusien innovaatioiden syntymiseen ja yhteiskuntavastuun toteuttamiseen. Materiaali- ja energiatehokkaalla toiminnalla voidaan vaikuttaa ilmastonmuutokseen, luonnonvarojen säästeliäiseen käyttöön sekä jätteiden syntyyn. Lisäksi on hyvin todennäköistä, että tulevaisuudessa lainsäädäntö tulee velvoittamaan yrityksiä materiaali- ja energiatehokkaaseen toimintaan. Materiaali- ja energiatehokkuus on koko yrityksen asia ja kaikki toiminta ja työntekijät sen sisällä tulisi perehdyttää ja sitouttaa toimintaan niin, että niissä voitaisiin onnistua.

LÄHTEET

- ACH foam technologies. 2010. Expanded polystyrene, environmental benefits. [WWW]. [Viitattu 29.9.2014]. Saatavissa: <http://www.achfoam.com/media/docs/Corporate%20Info/Environmentally%20Friendly%20EPS.pdf>.
- A-kassi. 2014. Ympäristö. [WWW]. [Viitattu 23.4.2014]. Saatavissa: <http://www.a-kassi.fi/ympaeristoe/>.
- Artekno. 2012. Muovipakkaukset. [WWW]. [Viitattu 14.6.2014]. Saatavissa: <http://www.artekno.fi/Elintarvikeratkaisut>.
- Ashby, M.F. 2013. Materials and the Environment. 2. painos. USA, Butterworth Heine-mann. 616 s.
- Auvinen, S. 2013. Luentomuistiinpanot MOL-72040. Pakkaustekniikka 27.8-11.10.2013. Tampere, Tampereen teknillinen yliopisto.
- Brand united oy. 2013. Ympäristöasiat imagon rakentajana. [WWW]. [Viitattu 17.9.2014]. Saatavissa: <https://www.jao.fi/loader.aspx?id=bc509fb9-133c-46ff-b991-235758ec3a3c>.
- CO₂-raportti. 2014. Tietoa ilmastonmuutoksesta. [WWW]. [Viitattu 24.9.2014]. Saata-vissa: <http://www.co2-raportti.fi/?page=ilmastonmuutos>.
- Conaplat. 2014. Type of blow moulding. [WWW]. [Viitattu 11.4.2014]. Saatavissa: http://www.conaplat.com.ar/pet/type_of_blow_moulding.htm.
- Eastman. 2014. Blown Film Line. [WWW]. [Viitattu 23.4.2014]. Saatavissa: http://www.eastman.com/Markets/medical_technical_center/Processing/Extrusion/Pages/BF_Process.aspx.
- Edu.fi. 2010. Pakkausmateriaalit. [WWW]. [Viitattu 17.3.2014]. Saatavissa: <http://www04.edu.fi/elintarvikkeidenpakkaaminen/materiaali.shtml>.
- Elinkeinoelämän keskusliitto. 2008. Materiaalitehokas toiminta säästää luontoa ja rahaa. 28 s. [WWW]. [Viitattu 2.7.2014]. Saatavissa: http://pda.ek.fi/www/fi/tutkimukset_julkaisut/2008/materiaalitehokkuus_WEB.pdf.

Energiäteollisuus. 2008. Energiäteollisuuden näkemys energiatehokkuuden edistämiseksi: Energiatehokkuus avainasemassa ilmasto- ja energiahaasteiden ratkaisemisessa. [WWW]. [Viitattu 24.9.2014]. Saatavissa: http://energia.fi/sites/default/files/ET_n%C3%A4kemys_energiatehokkuuden_edist%C3%A4miseksi.pdf.

Epsira. 2014. Info. [WWW]. [Viitattu 9.9.2014]. Saatavissa: <http://www.epsira.com/pages/fi/etusivu.php>.

Eurecipe. 2006. Low Energy Plastics Processing - European Best Practice Guide. 70 s. [WWW]. [Viitattu 1.10.2014]. Saatavissa: http://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/sites/iee-projects/files/projects/documents/recipe_low_energy_plastics_processing.pdf.

Euroopan komissio a. 2013. Ympäristö: Komissio ehdottaa muovikassien käytön vähentämistä. [WWW]. [Viitattu 9.9.2014]. Saatavissa: http://europa.eu/rapid/press-release_IP-13-1017_fi.htm.

Euroopan komissio b. 2013. Vihreä kirja: Ympäristössä olevaa muovijätettä koskevasta eurooppalaisesta strategiasta. Bryssel. 22 s.

Euroopan Unioni. 2008. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2008/98/EY. Euroopan unionin virallinen lehti nro L 312, ss. 3-30.

Eurostat. 2014. Electricity and natural gas price statistics. [WWW]. [Viitattu 29.9.2014]. Saatavissa: http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/index.php/Electricity_and_natural_gas_price_statistics.

GarbageX. 2014. Materiaalitehokkus. [WWW]. [Viitattu 17.9.2014]. Saatavissa: http://www.garbagex.net/01_jatehuollon_ohjaus/04_04_jatteiden_ehkaisy.html.

Gustafsson, K., Jönson, G., Smith, D. & Sparks, L. 2006. Retailing Logistics and Fresh Food Packaging - Managing Change in the Supply Chain. Lontoo ja Philadelphia, Kogan Page Publishers. 228 s.

Giacone, E. & Mancò, S. 2012. Energy efficiency measurement in industrial processes, Energy 38(2012)1, ss. 331-345.

Helsinki.fi. 1999. Alumiinin valmistus. [WWW]. [Viitattu 10.10.2014]. Saatavissa: <http://www.helsinki.fi/kemia/opettaja/aineistot/alumiini/prosessi.htm>

Huhtamäki a. 2014. [WWW]. [Viitattu 22.4.2014]. Saatavissa: <http://www2.huhtamaki.com/web/guest;jsessionid=E36C1226C56ABBA89BA021DCC7888206>.

- Huhtamäki b. 2014. [WWW]. [Viitattu 14.6.2014]. Saatavissa: http://www.foodservice.huhtamaki.fi/fi_FI/thermoforming.
- Ilmasto-opas.fi. 2014. Materiaalitehokkuus. [WWW]. [Viitattu 17.9.2014]. Saatavissa: <https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/hillinta/-/artikkeli/38393e35-469e-4b53-8a31-15fbab897c/materiaalitehokkuus.html>.
- Injection blow molding. 2014. [WWW]. [Viitattu 5.9.2014]. Saatavissa: <http://www.pslc.ws/macrog/mpm/composit/fiber/process/injebow.htm>.
- Inspectall. 2014. Asset Management. [WWW]. [Viitattu 5.9.2014]. Saatavissa: <http://www.inspectall.com/features/asset-management>.
- International energy agency a. 2014. Energy efficiency. [WWW]. [Viitattu 22.9.2014]. Saatavissa: <http://www.iea.org/topics/energyefficiency/>.
- International energy agency b. 2008. Energy technology perspectives: scenarios & strategies to 2050. Paris 2008, 642 s.
- Järvelä, P. 2011. Luentomuistiinpanot MOL-5170 Muovimateriaalit 1.9-8.12.2011. Tampere, Tampereen teknillinen yliopisto.
- Järvinen, P. 2008. Uusi muovitieto. Porvoo, Muovifakta. 263 s.
- Kaeser Kompressorit. 2014. PET lisää suosiotaan kivennäisvesipullojen materiaalina. [WWW]. [Viitattu 10.9.2014]. Saatavissa: <http://fi.kaeser.com/Images/PET-Mineral-Water-Bottles-tcm18-6689.pdf>.
- Kehittyvä elintarvike. 2003. Älypakkaus jakeluketjussa. [Viitattu 15.9.2014]. Saatavissa: <http://kehittyvaelintarvike.fi/teemajutut/50-alypakkaus-jakeluketjussa>.
- Kurri, V., Malen, T., Sandell, R., & Virtanen, M. 1999. Muovitekniikan perusteet. 4.painos. Helsinki, Hakapaino oy. 238 s.
- Lee, N. 2006. Practival Guide to Blow Moulding. Smithers Rapra Technology. 204 s.
- Marine Debris Solutions. 2014. Innovative Plastic Packaging. [WWW]. [Viitattu 12.9.2014]. Saatavissa: <http://www.marinedebrissolutions.com/Main-Menu/Plastic-Makers-Take-Action/Innovative-Plastic-Packaging-.html>.
- Luovasti luonnonvaroista. 2012. Energiantuotanto. [WWW]. [Viitattu 24.9.2014]. Saatavissa: http://www.edu.fi/luovasti_luonnonvaroista/luonnonvarojen_kayttajat/energiantuotanto.

Motiva a. 2014. Energiakatselmustoiminta. [WWW]. [Viitattu 30.9.2014]. Saatavissa: <http://www.motiva.fi/toimialueet/energiakatselmustoiminta>.

Motiva b. 2014. Energiatehokkuuden mittaus- ja seurantajärjestelmän hankinta. 11 s. [WWW]. [Viitattu 30.9.2014]. Saatavissa: http://www.motiva.fi/files/8931/Motiva_energiatehokkuus_mittaus_ja_seuranta_webpdf.pdf.

Motiva c. 2014. Materiaalitehokkuus. [WWW]. [Viitattu 30.6.2014]. Saatavissa: <http://www.motiva.fi/toimialueet/materiaalitehokkuus>.

Motiva d. 2012. Materiaalitehokkuushankkeiden seurannan ja vaikutusarvioinnin kehittäminen. 66 s. [WWW]. [Viitattu 15.9.2014]. Saatavissa: http://www.motiva.fi/files/6591/Materiaalitehokkuushankkeiden_seurannan_ja_vaikutusarvioinnin_kehittaminen_Esiselvitys.pdf.

Motiva e. 2008. Materiaalitehokkuuskatselmuksilla kustannussäästöjä ja ympäristöetuja. [WWW]. [Viitattu 17.9.2014]. Saatavissa: http://motiva.fi/files/2651/Materiaalitehokkuuskatselmuksilla_kustannussaastoja_ja_ymparistoetuja.pdf.

Muovifakta. 2012. Ostatko muovikiloja vai tilavuutta? [WWW]. [Viitattu 8.9.2014]. Saatavissa: <http://www.muovifakta.fi/tag/muovin-hinta/>.

Muovikassikiertoon.fi. 2014. [WWW]. [Viitattu 15.9.2014]. Saatavissa: <http://muovikassikiertoon.fi/etusivu>.

Muovimuotoilu. 2014. [WWW]. [Viitattu 15.4.2014]. Saatavissa: <http://www.muovimuotoilu.fi>.

Muovit. 2005. Materiaaliopinlaitos. Tampereen teknillinen yliopisto. [WWW]. [Viitattu 14.6.2014]. Saatavissa: http://www.ims.tut.fi/vmv/2005/vmv_4_4_3.php.

Muovipoli Oy. 2014. Muovialan resurssitehokkuutta tukevat palvelut. 43 s. [WWW]. [Viitattu 1.9.2014]. Saatavissa: http://www.muovipoli.fi/wp-content/uploads/2014/08/Muovipoli_Resurssitehokkuus.pdf.

Muoviteollisuus Ry. 2014. Muovitietoa. [WWW]. [Viitattu 17.3.2014]. Saatavissa: <http://www.muoviteollisuus.fi/fin/muovitieto>.

Nykänen, S. 2014. Valuatlas-muovituotteen kokonaissuunnittelu. Tampere, Tampereen teknillinen yliopisto.

Paccor. 2010. Packaging solutions. [WWW]. [Viitattu 14.6.2014]. Saatavissa: <http://www.paccor.fi/>.

Pakkausalan ympäristörekisteri PYR OY. 2014. Tilastot. [WWW]. [Viitattu 15.9.2014]. Saatavissa: <http://www.pyr.fi/tilastot.html>.

Palpa, 2010. Juomapakkausten kierrättäminen. [WWW]. [Viitattu 15.9.2014]. Saatavissa: <http://www.palpa.fi/files/palpafi/Uutiset/palpa-ppt-koulut.pdf>.

Pharmaceutical & Medical Packaging News. 2010. Molded EPS Containers Feature Expanded Benefits. [WWW]. [Viitattu 22.4.2014]. Saatavissa: <http://www.pmpnews.com/article/molded-eps-containers-feature-expanded-benefits>.

Pihkala, J. 2011 Pihkala, J. 2011 Pihkala, J. 2011 Pihkala, J. 2011. Petrokemiallinen teollisuus. [WWW]. [Viitattu 29.7.2014]. Saatavissa: <http://prosessiteknikka.kpedu.fi/doc-html/muovi.html>.

Pirkanmaan jätehuolto. 2014. Styrox (EPS). [WWW]. [Viitattu 15.9.2014]. Saatavissa: http://www.pirkanmaan-jatehuolto.fi/Tietori/styrox_eps-eristeet.

PlasticsEurope a. 2013. Muovipakkaus: luotu suojaksi. 2. painos. Helsinki, Kiriprintti oy.

PlasticsEurope b. 2014. Packaging – the Best Protection With Less and Less Material. [WWW]. [Viitattu 12.9.2014]. Saatavissa: http://www.plasticseurope.org/Documents/Document/20100312155603-Packaging_-_the_best_protection_with_less_and_less_material.pdf.

PlasticsEurope c. 2013. The Facts 2013. [WWW]. [Viitattu 24.9.2014]. Saatavissa: <http://www.plasticseurope.org/Document/plastics-the-facts-2013.aspx?FoIID=2>.

Plastic packaging. 2014. Environment. [WWW]. [Viitattu 24.9.2014]. Saatavissa: <http://www.plasticpackagingfacts.org/environment#b>.

Rufe, P.D. 2013. Fundamentals of Manufacturing. 3. painos. Society of Manufacturing Engineers (SME). 606 s.

Sipiläinen-Malm, T. 2006. VTT. Aktiiviset ja älykkäät elintarvikepakkaukset. [WWW]. [Viitattu 15.9.2014]. Saatavissa: http://www04.edu.fi/elintarvikkeidenpakkaaminen/aktjaaly_sipilainen-malm.pdf.

Styro. 2013. Expanded Polystyrene (EPS). [WWW]. [Viitattu 17.4.2014]. Saatavissa: <http://www.styroutae.com/environment/>.

Styroplast. 2014. Mitä EPS on. [WWW]. [Viitattu 15.9.2014]. Saatavissa: <http://www.styroplast.fi/tietoa-eps-eristeista.html>.

Suominen. 2014. Liiketoiminta. [WWW]. [Viitattu 23.4.2014]. Saatavissa: <http://www.suominen.fi/fi/liiketoiminta/>.

Sutela, L. 2014. Pakkaussuunnittelu. [WWW]. [Viitattu 15.9.2014]. Saatavissa: <http://pakkaussuunnittelu.net/tag/alypakkaus/>.

Symbioosi. 2014. Energiajäte. [WWW]. [Viitattu 15.9.2014]. Saatavissa: <http://www.helsinki.fi/jarj/symbioosi/kierratys/energia.html>.

Tangram Technology. 2014. Resource Efficiency in Plastics Processing. [WWW]. [Viitattu 8.9.2014]. Saatavissa: <http://www.pcn.org/Technical%20Notes%20-%20Resource%20Efficiency%20in%20Plastics%20Processing.pdf>.

Teknologiateollisuus a. 2012. Energiatehokkuuden merkitys teknologiassa. [WWW]. [Viitattu 6.10.2014]. Saatavissa: http://www.motiva.fi/files/6485/Energiatehokkuuden_merkitys_Teknologiateollisuudessa_Patrick_Frostell.pdf.

Teknologiateollisuus b. 2014. Kilpailukykyä ja uutta liiketoimintaa materiaalitehokkuudesta. 27 s. [WWW]. [Viitattu 17.9.2014]. Saatavissa: http://teknologiateollisuus.fi/sites/default/files/file_attachments/elinkeinopolitiikka_kestava_kehitys_materiaalitehokkuus.pdf.

Telko. 2014. Volyymimuovit. [WWW]. [Viitattu 9.4.2014]. Saatavissa: <http://www.telko.com/portal/fi/muovit/volyymimuovit/>.

Tilastokeskus. 2014. Kasvihuonekaasupäästöt vähenivät teollisuudessa ja energiahuollossa vuonna 2012. [WWW]. [Viitattu 24.9.2014]. Saatavissa: http://www.stat.fi/til/tilma/2012/tilma_2012_2014-09-25_tie_001_fi.html.

Työ- ja elinkeinoministeriö. 2014. Energia. [WWW]. [Viitattu 22.9.2014]. Saatavissa: <http://www.tem.fi/energia>.

Työ- ja elinkeinoministeriö & Ympäristöministeriö. 2013. Kestävää kasvua materiaalitehokkuudella. Helsinki, Edita Publishing Oy. 30 s.

Van Heur, R. & Verheije, M. 2009. Energy Efficiency in Plastics Industry. [WWW]. [Viitattu 24.9.2014]. Saatavissa: <http://www.scribd.com/doc/10992941/Energy-Efficiency-in-the-Plastics-Industry>.

Varsinais-Suomen ruokaketju. 2013. Pakkauslinikka. [WWW]. [Viitattu 15.9.2014]. Saatavissa: <http://www.varru.fi/hanke/toiminta/Pakkauslinikka281113.html>.

Väisänen, M. 2014. Ohuet muovipussit pannaan. Kainuun Sanomat [verkkoliite]. Keski-viikko 22. huhtikuuta 2014. [WWW]. [Viitattu 22.4.2014]. Saatavissa: <http://www.kainuunsanomat.fi/kainuun-sanomat/kotimaa/ohuet-muovipussit-pannaan/>.

Wortberg, J. 2010. Resource and Energy Efficiency –a challenge for plastics technology [WWW]. [Viitattu 7.10.2014]. Saatavissa: http://www.k-online.de/cipp/md_k/custom/pub/content,oid,20327/lang,2/ticket,g_u_e_s_t/~Resource_and_energy_efficiency_%E2%80%93a_challenge_for_plastics_technology.html.

Yhteishyvä. 2012. Ekomatsi: lasipullo vs. muovipullo. [WWW]. [Viitattu 9.9.2014]. Saatavissa: <http://www.yhteishyva.fi/koti-ja-puutarha/kodinhoito/ekomatsi-lasipullo-vs-muovipullo/0218010-31087>.

LIITE 1: KÄYTETYIMPIEN MUOVIEIN KIERRÄTYSMERKIT

MUOVIN KIERRÄTYSMERKIT.



Polyeteenitereftalaatti (01 PET)

Isot virvoitusjuomapullot. Voi palauttaa kauppojen automaattisiin.



Polyeteeni high-density (02 PE-HD)

Mehupullot, muoviämpärit, virvoitusjuomakorit. Soveltuu energiajätteeksi. Korit voi palauttaa kauppaan. Katso kierrätyksestä: suomenuusiomuovi.fi.



Polyvinyylikloridi (03 PVC)

Putket, letkut, rakennusmateriaalit. PVC-muovia ei saa polttaa eikä panna energiajätteen keräykseen. Katso kierrätyksestä: suomenuusiomuovi.fi.



Polyeteeni low-density (04 PE-LD)

Muovikassit, -pussit ja -kalvot. Soveltuvat energiajätteeksi. Pieniä määriä voi polttaa puun seassa. Muovikassit voi palauttaa kauppoihin, joissa on muovijätteen keräysastia.



Polypropeeni (05 PP)

Narut, rasiat, laitteiden osat. Soveltuvat energiajätteeksi.



Polystyreeni (06 PS)

Rasiat, purkit, mikit, styrox. Soveltuvat energiajätteeksi.



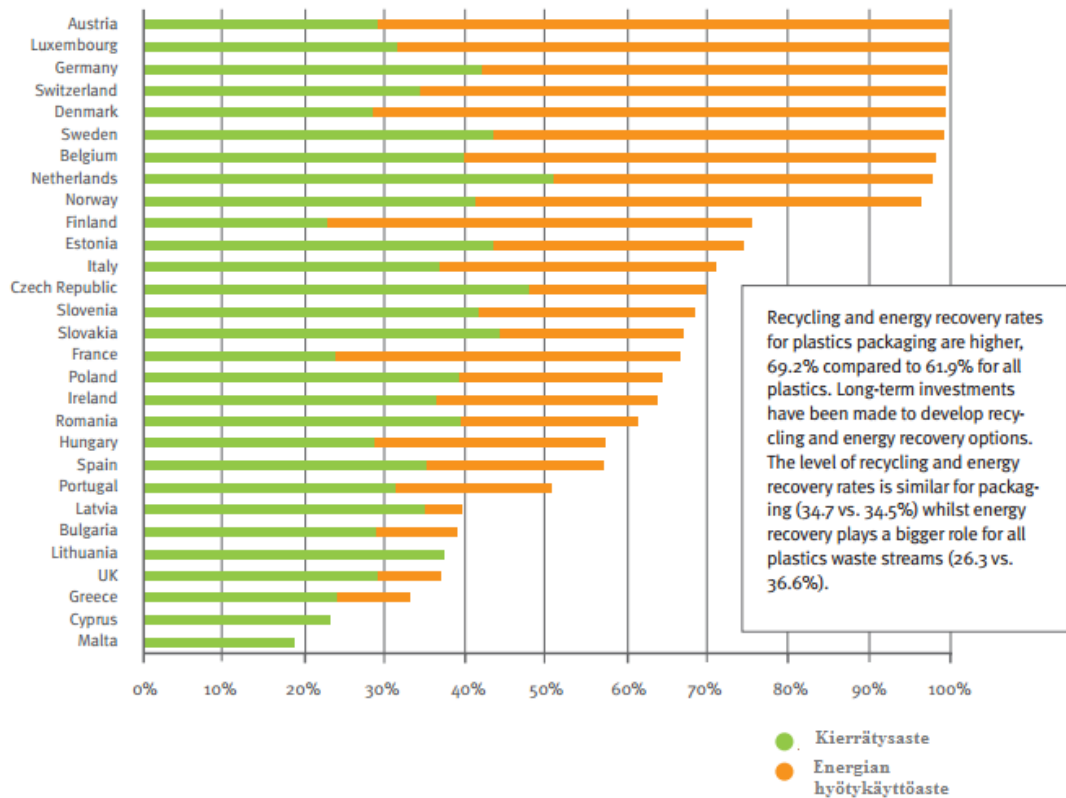
Muut muovit ja sekoitemateriaalit (07 O)

Vain laitosmaiseen polttoon, soveltuminen muuhun kuin sekajätteeseen pitää tarkistaa paikalliselta jätehuolloilta.

(Muoviteollisuus Ry. 2014).

LIITE 2: MUOVIPAKKAUSTEN ENERGIAN HYÖTY- JA KIERRÄTYSASTE VUONNA 2012

Muovipakkausten energian hyöty- ja kierrätysaste vuonna 2012



(Mukailtu PlasticsEurope c. 2013).